



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PERANCANGAN TIPIKAL INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL  
RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU DI KOTA  
SURABAYA**

**AGUNG WAHYU PAMUNGKAS**  
**3313100006**

**Dosen Pembimbing:**  
**Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2017**











**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PERANCANGAN TIPIKAL INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL  
RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU DI KOTA  
SURABAYA**

**AGUNG WAHYU PAMUNGKAS**  
**3313100006**

Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017









**FINAL PROJECT - RE 141581**

# **TYPICAL DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT PLANT OF TOUFU HOME INDUSTRIES IN SURABAYA CITY**

**AGUNG WAHYU PAMUNGKAS**  
3313100006

**SUPERVISOR**  
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



## LEMBAR PENGESAHAN

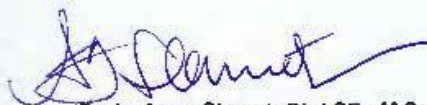
### PERANCANGAN TIPIKAL INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU DI KOTA SURABAYA

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh  
**AGUNG WAHYU PAMUNGKAS**  
NRP. 3313 100 006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



**Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc**

NIP. 195908111987011001











# **PERANCANGAN TIPIKAL INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU DI KOTA SURABAYA**

Nama Mahasiswa : Agung Wahyu Pamungkas  
NRP : 3313100006  
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.  
NIP : 19590811 198701 1 001

## **ABSTRAK**

Industri tahu dalam proses produksinya menghasilkan limbah, baik limbah padat maupun cair dengan karakteristik mengandung bahan organik dengan kadar BOD, COD yang cukup tinggi. Akibat dari tingginya kandungan bahan organik dalam limbah industri tahu, akan menurunkan daya dukung lingkungan apabila dibuang langsung ke lingkungan. Industri tahu sendiri umumnya adalah industri skala kecil yang membutuhkan pengolahan dengan investasi biaya serta O&M yang terjangkau. Perencanaan ini bertujuan untuk merencanakan desain tipikal dari IPAL industri tahu di Surabaya.

Tahapan perencanaan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah studi literatur, pengumpulan data, penelitian pendahuluan, pengolahan data, pembahasan dan kesimpulan. Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data primer berupa kualitas air limbah dan survey kondisi eksisting, serta data sekunder yang berupa HSPK kota surabaya, data lokasi, data produksi, dan data monitoring. Data primer diambil dari kegiatan produksi tahu di 3 industri tahu berbeda di kota surabaya. Data sekunder didapatkan dari dinas terkait dan industri yang bersangkutan. Dalam perencanaan ini digunakan rangkaian unit biodigester anaerobik dan 3 alternatif. Alternatif yang digunakan dalam perencanaan ini, yaitu unit Anaerobik Filter, Wetland, dan Aerobik Biofilter.

Ketiga industri tahu dibedakan atas produksi tahu hariannya. Dari ketiga alternatif yang tersedia, digunakan alternatif

pertama, yaitu kombinasi Anaerobik Biodigester-Anaerobik Filter untuk ke tiga industri tahu. Pemilihan ini didasarkan pada efisiensi penurunan kualitas limbah dan penggunaan lahan. Pada industri dengan kapasitas produksi dibawah 100 kg/hari digunakan unit digester dengan diameter 2,15 m dan kedalaman 4 m, serta unit Anaerobik Filter dengan 1 tangki filter. Biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp 200.571.373. Pada industri dengan kapasitas produksi 100-500 kg/hari digunakan unit digester dengan diameter 4,3 m dan kedalaman 4 m, serta unit Anaerobik Filter dengan 3 tangki filter. Biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp 312.668.316. Pada industri dengan kapasitas produksi diatas 500 kg/hari digunakan unit digester dengan diameter 4,9 m dan kedalaman 6 m, serta unit Anaerobik Filter dengan 6 tangki filter. Biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp 507.239.001.

**Kata kunci : *Aerobik Biofilter, Anaerobik Filter, Biodigester Anaerobik, Limbah cair tahu, Wetland.***

# **TYPICAL DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT PLANT OF TOUFU HOME INDUSTRIES IN SURABAYA CITY**

Name of Student : Agung Wahyu Pamungkas  
NRP : 3313100006  
Study Programm : Environmental Engineering  
Supervisor : Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.  
NIP : 19590811 198701 1 001

## **ABSTRACT**

The tofu industry in its production process produces waste, both solid and liquid waste with characteristics containing organic matter with high levels of BOD, COD. As a result of the high content of organic matter in tofu industry waste, will reduce the carrying capacity of the environment when disposed of directly to the environment. The tofu industry is generally a small-scale industry that requires processing with cost investments and affordable O & M. This planning aims to design a typical design of knowledgeable industrial WTP in Surabaya.

Stages of planning used in this final project is the study of literature, data collection, preliminary research, data processing, discussion and conclusions. The data used in this final project are primary data of waste water quality and survey of existing condition, and secondary data in the form of HSPK surabaya city, location data, production data, and monitoring data. Primary data taken from tofu production activities in 3 different tofu industry in surabaya city. Secondary data is obtained from relevant offices and industries concerned. In this planning an anaerobic unit biodigester unit and 3 alternatives are used. Alternatives used in this planning, namely Anaerobic Filter, wetland, and aerobic biofilter units.

The three toufu industries categorized based on the daily production rate they hold. Of the three alternatives available, the first alternative is used, namely the Anaerobic Biodigester- Anaerobic Filter combination for the three tofu industries. This selection is based on the efficiency of waste quality reduction and

land use. In industries with a production capacity below 100 kg/day, a digester unit with a diameter of 2.15 m and a depth of 4 m, also an anaerobic filter unit with 1 tank filter is used. The required investment cost is Rp 200.571.373. In industries with a production capacity of 100-500 kg/day, the digester unit with a diameter of 4.3 m and a depth of 4 m, also an Anaerobic Filter unit with 3 filter tanks is used. The required investment cost is Rp 312.668.316. In industries with a production capacity above 500 kg/day, a digester unit with a diameter of 4.9 m and a depth of 6 m, also an Anaerobic Filter unit with 6 filter tanks is used. The required investment cost is Rp 507.239.001.

**Key word : Aerobik Biofilter, Anaerobic Biodigester, Anaerobik Filter, Toufu wastewater, Wetland.**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah hirabbil 'alamin. Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang senantiasa mencurahkan rahmad dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Perancangan Tipikal Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Rumah Tangga (IKRT) tahu di Kota Surabaya”** ini dengan lancar dan tepat waktu.

Tidak dapat dipungkiri hambatan dan permasalahan sering terjadi seiring berjalannya waktu. Namun dengan segenap bantuan, dorongan, serta doa yang diberikan secara tulus dan ikhlas oleh orang-orang terdekat, hingga akhirnya semua berjalan lancar. Dalam kesempatan ini, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl. SE. MSc selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, menyempatkan waktu, serta memberi masukan dalam penyusunan laporan ini.
2. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE. MSc. PhD, Bapak Welly Herumurti, ST., MSc, dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan.
3. Teman-teman seperjuangan, Fajar Arinal, Kristianus Octavianus, Intan Rahmawati, Aulia rahmanissa dan teman teman angkatan 2013 yang selalu memberikan semangat baik tersirat maupun tersurat.
4. Semua pihak yang telah mendukung sehingga tugas ini dapat terselesaikan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis menyadari, tentunya banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karenanya penulis sangat mengharapkan saran maupun kritik yang membangun, untuk kebaikan kita bersama. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 18 Juni 2017  
Penulis





Daftar Isi	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Tujuan .....	4
1.4    Manfaat .....	4
1.5    Ruang Lingkup .....	4
BAB 2.....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1    Gambaran Umum .....	5
2.2    Limbah Industri Tahu .....	7
2.3    Karakteristik Limbah Industri Tahu .....	7
2.4    Pengolahan Limbah Industri Tahu .....	9
2.5    Anaerobic Biodigester .....	10
2.6    Anaerobic Filter.....	14
2.7    Wetland .....	21
2.8    Aerobik Biofilter.....	26
BAB III.....	29
METODE PERENCANAAN .....	29
3.1    Kerangka Perencanaan.....	29

3.2	Tahapan Perencanaan .....	30
3.2.1	Batasan Masalah .....	31
3.2.2	Studi Literatur.....	31
3.2.3	Pengumpulan Data .....	32
3.2.4	Penelitian Pendahuluan.....	34
3.2.5	Pengolahan Data.....	35
3.2.6	Analisis Hasil Perencanaan .....	37
3.3	BOQ dan RAB IPAL.....	37
3.3.1	Kesimpulan dan Saran .....	38
3.3.2	Pembuatan Laporan .....	38
BAB IV .....		39
PERENCANAAN DAN PEMBAHASAN .....		39
4.1	Industri Tahu di Surabaya .....	39
4.2	Kondisi Industri Tahu Terpilih.....	41
4.2.1	Kedung Tarukan .....	41
4.2.2	Tambang Boyo .....	42
4.2.3	Kenjeran.....	42
4.3	Perencanaan IPAL.....	43
4.4	Desain unit IPAL .....	45
4.4.1	Kualitas Air Limbah .....	45
4.4.2	Desain Unit Anaerobik Biodigester .....	47
4.4.3	Desain Anaerobik Filter .....	57
4.4.4	Desain Unit Wetland .....	67
4.4.5	Desain Aerobik Filter .....	72

4.5	Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Unit IPAL .....	78
4.6	Profil Hidrolis .....	83
4.7	Bill of Quantity dan Rencana Anggaran Biaya ....	89
BAB V .....		93
KESIMPULAN DAN SARAN .....		93
5.1	Kesimpulan .....	93
DAFTAR PUSTAKA .....		95
Lampiran Gambar .....		99
Lampiran RAB.....		107
BIOGRAFI.....		123

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Tabel

Tabel 2.1 Kriteria Desain Anaerobic Digester .....	11
Tabel 2.2 <i>Retention Time</i> pada digester .....	13
Tabel 2.3 Perbandingan luas permukaan spesifik media biofilter .....	14
Tabel 2.4 Kriteria desain wetland .....	21
Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal media .....	22
Tabel 2.6 penurunan COD .....	22
Tabel 2.7 penurunan BOD .....	23
Tabel 2.8 penurunan TSS .....	23
Tabel 4.1 Industri tahu di surabaya .....	39
Tabel 4.2 produksi dan pemakaian .....	40
Tabel 4.3 pengelompokan .....	40
Tabel 4.4 debit limbah produksi .....	41
Tabel 4.5 lahan tersedia .....	43
Tabel 4.6 pertimbangan .....	44
Tabel 4.7 kualitas kenjeran .....	46
Tabel 4.8 lualitas tambang boyo .....	46
Tabel 4.9 kualitas kedung tarukan .....	47
Tabel 4.10 Kriteria Desain Wetland .....	65
Tabel 4.11 Pengalokasian lahan .....	76
Tabel 4.12 baku mutu .....	76
Tabel 4.13 Dimensi Bak Netralisasi .....	76
Tabel 4.14 Dimensi Anaerobik Biodigester .....	77
Tabel 4.15 Dimensi Settler .....	77
Tabel 4.16 Dimensi Anaerobik Filter .....	77
Tabel 4.17 Dimensi Sub-surface Flow Wetland .....	78
Tabel 4.18 Dimensi Aerobik Biofilter .....	78
Tabel 4.19 Kualitas Effluent dan Kebutuhan Lahan ....	79
Tabel 4.20 Efisiensi Removal .....	80
Tabel 4.21 Profil Hidrolis .....	83
Tabel 4.22 RAB konstruksi Digester Kenjeran .....	85
Tabel 4.23 RAB konstruksi Alternatif 1 Kenjeran .....	85
Tabel 4.24 RAB konstruksi	

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Gambar

Gambar 2.1 Skema Pembuatan Tahu .....	7
Gambar 2.2 <i>Anaerobic Digester</i> .....	12
Gambar 2.3 <i>Anaerobic Filter</i> .....	15
Gambar 2.4 Faktor Load .....	15
Gambar 2.5 Faktor temperatur .....	16
Gambar 2.6 faktor strength.....	16
Gambar 2.7 Faktor surface.....	17
Gambar 2.8 faktor BOD/COD rem.....	17
Gambar 2.9 Faktor HRT .....	18
Gambar 2.10 <i>Free water surface</i> .....	25
Gambar 2.11 <i>Sub-Surface flow system</i> .....	25
Gambar 3.1 kerangka perencanaan .....	29
Gambar 3.2 Alur dan alternatif pengolahan .....	31
Gambar 4.1 Alternatif Pengolahan 1.....	44
Gambar 4.2 Alternatif Pengolahan 2.....	44
Gambar 4.3 Alternatif Pengolahan 3.....	44
Gambar 4.4 Faktor COD rem dengan HRT .....	57
Gambar 4.5 efisiensi BOD rem dengan COD rem .....	57
Gambar 4.6 faktor reduksi sludge.....	58
Gambar 4.7 removal TSS.....	58

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Proses produksi tahu di Indonesia umumnya masih dilakukan dengan teknologi sederhana. Hal tersebut berakibat pada tingkat efisiensi penggunaan sumber daya (air dan bahan baku) yang rendah dan tingkat produksi limbah yang tinggi. Kegiatan industri tahu di Indonesia didominasi oleh usaha-usaha skala kecil dengan modal yang terbatas. Dari segi lokasi, industri tahu tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Sumber daya manusia yang terlibat dalam proses produksi tahu pada umumnya bertaraf pendidikan yang rendah.

Industri tahu dalam proses pengolahannya menghasilkan limbah baik limbah padat maupun cair. Limbah padat dihasilkan dari proses penyaringan dan penggumpalan. Limbah padat ini kebanyakan oleh pengrajin dijual dan diolah menjadi tempe gembus, kerupuk ampas tahu, pakan ternak, dan diolah menjadi tepung ampas tahu yang akan dijadikan bahan dasar pembuatan roti kering dan cake. Sedangkan limbah cair dari produksi tahu dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu. Limbah cair yang dihasilkan memiliki kadar COD dan BOD yang tinggi, sehingga jika langsung dibuang ke badan air, akan menurunkan daya dukung lingkungan.(Kaswinarmi, 2007).

Berdasarkan UU no 32 th 2009, daya dukung lingkungan adalah kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk lain, dan keseimbangan antar keduanya. Salah satu faktor yang menentukan daya dukung lingkungan dalam kondisi baik atau tidak adalah akumulasi limbah dari aktivitas produksi (Suryanto,2007). Sehingga industri tahu memerlukan suatu pengolahan limbah yang bertujuan untuk mengurangi resiko beban pencemaran yang ada.

Air banyak digunakan sebagai bahan pencuci dan perebus kedelai. Akibat dari besarnya pemakaian air pada proses pembuatan tahu dan tempe, maka limbah yang dihasilkan juga cukup besar. Menurut Herlambang (2002) dan laily (2015), suhu air limbah tahu berkisar 37-45°C, kekeruhan 535-585 FTU, warna

2.225-2.250 Pt.Co, amonia 23,3-23,5 mg/L, BOD5 6.000-8.000 mg/L dan COD 7.500-14.000 mg/L. Apabila kita bandingkan dengan limbah domestik rumah makan dengan nilai BOD berkisar antara 1000-1800, dan COD 1200-2500, limbah tahu memiliki kadar BOD dan COD yang tinggi. Mempertimbangkan baku mutu limbah cair industri produk makanan dari kedelai menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur no 52 tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri, kadar maksimum yang diperbolehkan untuk BOD5, COD dan TSS berturut-turut sebesar 150, 300, dan 100 mg/L, namun tidak dituliskan batas maksimal amonium dan nitrat. Dari pertimbangan tersebut, kita mengetahui bahwa limbah cair tahu ini telah melampaui baku mutu yang dipersyaratkan.

Pengolahan limbah cair industri tahu dapat dilakukan secara fisik-kimia maupun secara biologis. Secara fisik-kimia teknologi atau alternatif pengolahan yang digunakan diantaranya adalah proses sedimentasi, koagulasi-flokulasi, dan oksidasi kimia (Pokhrel dan Viraraghavan, 2004). Secara proses biologi adapun alternatif yang dapat digunakan dapat berupa degradasi menggunakan bakteri dengan proses aerob maupun anaerobik. Disisi lain pengolahan biologis yang dapat diterapkan adalah dengan degradasi menggunakan fungi (Kamali, 2015).

Dalam proses pemilihan alternatif pengolahan perlu dipertimbangkan baik dari segi kemampuan suatu proses dalam menyisihkan polutan, serta kemampuan finansial baik dari segi kemudahan operasi atau perawatan. Salah satu alternatif pengolahan yang banyak digunakan adalah proses degradasi anaerobik. Proses anaerobik memiliki kelebihan biaya operasi dan perawatan yang murah, lumpur yang terbentuk sedikit, serta memiliki efisiensi pengolahan zat organik yang tinggi. Disisi lain proses anaerobik memiliki kekurangan removal nutrien yang kecil sehingga diperlukan proses lain untuk mengolah nutrien (Lettinga, 1995).

Teknologi pengolahan limbah tahu yang memiliki kadar nutrien tinggi dapat dilakukan dengan proses biologis sistem anaerob, aerob dan kombinasi anaerob-aerob. Teknologi pengolahan limbah tahu yang ada saat ini pada umumnya berupa pengolahan limbah dengan sistem anaerob, hal ini disebabkan karena biaya operasionalnya lebih murah. Dengan proses biologis anaerob,

efisiensi pengolahan hanya sekitar 70%-80%, sehingga air olahan dari proses ini masih mengandung kadar pencemar organik cukup tinggi (Herlambang, 2002).

Dalam mengolah limbah cair dengan kadar organik yang tinggi, dibutuhkan unit dengan efisiensi removal yang baik. Menurut Endah (2012), unit Biodigester Anaerobik mampu mengolah limbah cair dengan kadar organik yang tinggi. Unit ini mampu mereduksi COD hingga 80%, N hingga 30%, P hingga 55%, serta Suspended solid hingga 50%. Unit lain seperti Anaerobik Filter mampu mereduksi COD hingga 86,9% dan BOD<sub>5</sub> hingga 92,4% (Agastya, 2016). Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan oleh Prakoso (2016), unit Wetland mampu mengolah limbah cair yang memiliki kadar organik tinggi dengan removal COD mencapai 85%, BOD 80%, dan TSS hingga 46%. Unit lain yang mampu mengolah limbah dengan kadar organik tinggi adalah Aerobik Biofilter. Unit Aerobik Biofilter mampu menurunkan BOD hingga 90% serta mereduksi fosforus, nitrogen, dan amonia (Tilley *et al.*, 2014)

Dalam tugas akhir ini, industri tahu di Surabaya akan dikelompokkan dalam 3 kategori berdasarkan kuantitas produksinya, yaitu kategori besar, sedang, dan kecil. Tugas akhir ini akan berfokus pada analisa IPAL dengan unit Biodigester anaerobik dan salah satu dari 3 alternatif unit, yaitu Anaerobik Filter, Wetland, atau Aerobik Biofilter. 3 alternatif tersebut dipilih karena mampu mengolah limbah cair dengan kadar organik tinggi. Penentuan alternatif yang digunakan di tiap kategorinya akan mengikuti kondisi di lapangan.

Output yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah dalam pembangunan IPAL untuk industri tahu kita bisa segera memperkirakan unit serta ukuran dari IPAL berdasarkan kategori yang ada. Adapun aspek yang dikaji adalah aspek teknis berkaitan dengan penentuan alternatif pengolahan limbah cair serta aspek finansial berkaitan dengan analisa Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran dan Biaya (RAB).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dari perancangan ini adalah:

1. Bagaimana *typical design* yang sesuai untuk pengolahan air limbah dari *home industry* tahu di kota Surabaya, biaya investasi,

serta operasi & perawatan unit IPAL *home industry* tahu di kota Surabaya

### **1.3 Tujuan**

Tujuan perancangan ini adalah:

1. Merencanakan tipikal bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) *home industry* tahu di kota Surabaya

### **1.4 Manfaat**

Manfaat dari perancangan ini adalah memberikan informasi ilmiah tentang desain pengolahan limbah yang sesuai karakteristik air limbah home industri tahu di Surabaya

### **1.5 Ruang Lingkup**

Batasan dalam perancangan ini adalah :

1. Perancangan dilakukan dari bulan Januari sampai dengan April tahun 2017.
2. Baku mutu effluen IPAL yang direncanakan mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No.52 tahun 2014.
3. Detail perancangan adalah seluruh IPAL.
4. Perhitungan *bill of quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) yang mengacu pada HSPK Kota Surabaya tahun 2015.
5. Gambar teknis meliputi:
  - a. Denah unit pengolahan.
  - b. Potongan memanjang dan melintang unit pengolahan
  - c. Profil hidrolis

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum**

Industri tahu merupakan industri kecil rumah tangga yang menyumbangkan cukup banyak limbah cair. Definisi industri kecil sendiri menurut rumusan yang ada dalam Surat Keputusan Menteri Perindustrian No. 150/M/SK-7/1995 mempunyai lingkup sebagai berikut :

1. Produk yang dihasilkan adalah produk-produk yang tergolong dalam kebutuhan rumah tangga untuk konsumsi masyarakat.
2. Pemilik saham/modal adalah masyarakat setempat.
3. Skala usaha adalah skala kecil dengan investasi dibawah Rp. 50.000.000,- tidak termasuk nilai tanah dan bangunan.

Industri kecil rumah tangga (IKRT) dapat dibagi/dikelompokkan berdasarkan atas komoditi dan produk yang dihasilkan, antara lain :

1. IKRT yang memproduksi bahan konsumsi (pangan, sandang).
2. IKRT yang memproduksi alat pertanian dan pertukangan.
3. IKRT yang memproduksi barang-barang seni (ukir-ukiran kayu, patung, perhiasan, batik tulis, tenun ikat, dll).

Kriteria dan ciri industri kecil rumah tangga (IKRT) dapat dibedakan antara lain :

1. Tenaga kerja : a). tenaga kerja/pengrajin terbatas pada lingkungan rumah tangga, sehingga jumlahnya sangat terbatas dibawah 10 orang; b). Pimpinan melaksanakan segala urusan kegiatan usaha.
2. Produk : a). jenis produk spesifik, tergantung pada keterampilan tradisional, dengan alat produksi yang sederhana.
3. Permodalan : a). tidak dipisahkan antara modal dan kekayaan pribadi/keluarga dan sangat terbatas; b). belum dapat memanfaatkan langsung skema perkreditan modern.
4. Lokasi : a). tidak terpisahkan dengan rumah tangga pengusaha/pemilik atau tempat usaha dalam bangunan rumah tangga; b). IKRT berkembang di suatu desa, dapat membentuk sentra industri kecil dengan ciri-ciri produksi yang dihasilkan sama.

5. Definisi/batasan : a). IKRT termasuk usaha produksi industri kecil yang diselenggarakan sebagai self employment dan modal sendiri (menciptakan modal sendiri atau dibantu oleh anggota keluarga).

Menurut Purwaningsih (2007) pembuatan tahu terdiri dari 2 bagian, yaitu pembuatan susu kedelai dan penggumpalan proteinnya. Sebagai zat penggumpal, secara tradisional biasanya digunakan biang, yaitu cairan yang keluar pada waktu pengepresan dan sudah diasamkan semalam. sebagai pengganti dapat digunakan air jeruk, cuka, larutan asam laktat, larutan  $\text{CaCl}_2$ , atau  $\text{CaSO}_4$ .

Menurut Purwaningsih (2007) pula, prosedur pembuatan tahu dapat dibagi menjadi beberapa tahapan :

1. Pencucian dan perendaman kedelai dalam air bersih
2. Penggilingan kedelai
3. Bubur kedelai selanjutnya disaring dan filtratnya dimasak
4. Dilakukan penggumpalan dengan penambahan biang tahu atau bahan lain
5. Gumpalan Protein selanjutnya dicetak dan diperas

Berdasarkan data yang didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup kota Surabaya, terdapat 10 industri tahu yang masih beroperasi di Surabaya. Daftar industri tahu di kota surabaya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

*Tabel 2.1 Industri Tahu di Surabaya*

NO	INDUSTRI TAHU	ALAMAT
1	Bintang	Raya Kedurus 189
2	Halim	Raya Kedurus 183 B
3	Kedungtarukan	Kedung Tarukan 12
4	Tambang Boyo	Tambang Boyo 132-134
5	Karang Asem	Karang Asem 10
6	Legowo	Gunungsari II /25-27
7	Saudara	Karang Tembok no 116A
8	Sumber Kencono	Dinoyo no 81A-83A

NO	INDUSTRI TAHU	ALAMAT
9	Kenjeran	Raya Kenjeran
10	Fusia	Raya Dr. Soetomo

Sumber : DLH kota Surabaya, 2017

## 2.2 Limbah Industri Tahu

Menurut Potter dkk. (1994), Jumlah air limbah tahu yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu kira kira 15-20 L / kg bahan baku kedelai, sedangkan beban pencemarannya kira-kira sebesar 30 kg *Total Suspended Solids* (TSS) / kg bahan baku kedelai, *Biological Oxygen Demand* (BOD) 65 gr / kg bahan baku kedelai dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) 130 gr/ kg bahan baku kedelai.

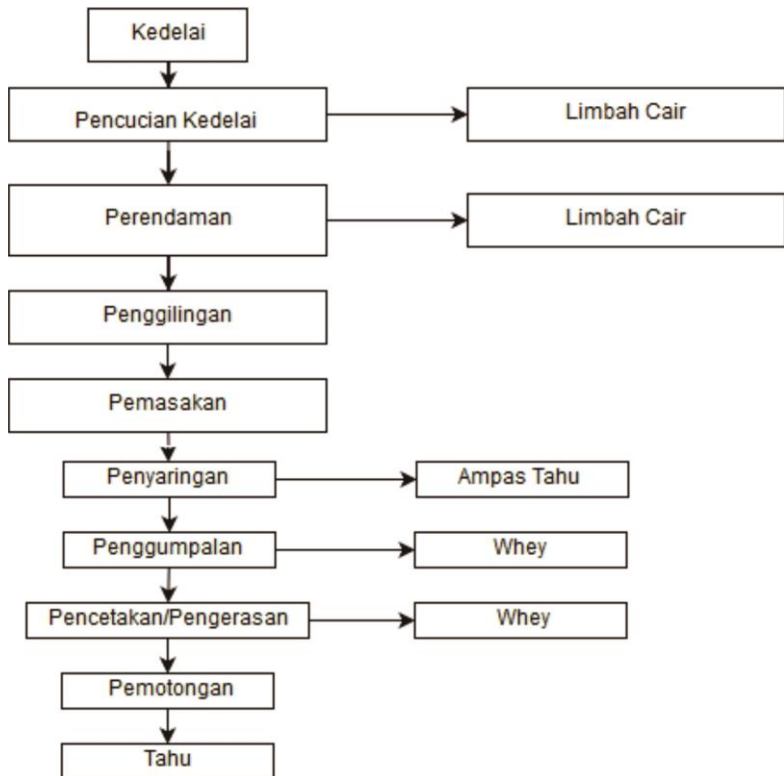
Skema pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut. Dari Gambar 2.1 kita mengetahui bahwa limbah tahu, baik limbah padat maupun cair, terbentuk pada proses pencucian kedelai, perendaman, penyaringan, penggumpalan, dan pencetakan/pengerasan.

## 2.3 Karakteristik Limbah Industri Tahu

Sebagian besar sumber limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (whey). Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Whey sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari sungai. Sumber limbah cair lainnya berasal dari pencucian kedelai, pencucian peralatan proses, pemasakan dan larutan bekas rendaman kedelai. (Sani, E.Y. 2006)

EMDI dan BAPEDAL (1994) menyebutkan bahwa limbah cair yang dihasilkan industri tahu kira-kira 15-20 L/kg bahan baku kedelai. Menurut Herlambang (2002), Karakteristik buangan industri tahu meliputi dua hal, yaitu karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik Fisika meliputi padatan total, padatan tersuspensi, suhu, warna, dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Suhu air limbah tahu berkisar 37-45°C,

kekeruhan 535-585 FTU, warna 2.225-2.250 Pt.Co, amonia 23,3-23,5 mg/L, BOD5 6.000-8.000 mg/L dan COD 7.500-14.000 mg/L



(sumber: Purwaningsih, 2007)

*Gambar 2.1 Skema Pembuatan Tahu*

Menurut Herlambang (2002) pula, Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah tahu adalah gas nitrogen ( $N_2$ ). Oksigen ( $O_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), amonia ( $NH_3$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ) dan metana ( $CH_4$ ). Gas-gas tersebut berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air buangan.



## 2.4 Pengolahan Limbah Industri Tahu

Salah satu alternatif pengolahan yang banyak digunakan adalah proses degradasi anaerobik. Proses anaerobik memiliki kelebihan antara lain biaya operasi dan perawatan yang murah, lumpur yang terbentuk sedikit, serta memiliki efisiensi pengolahan zat organik yang tinggi. Disisi lain proses anaerobik memiliki kekurangan removal nutrien yang kecil sehingga diperlukan proses lain untuk mengolah nutrien (Lettinga, 1995).

Pemilihan sistem pengolahan air limbah didasarkan pada sifat dan karakter air limbah tahu itu sendiri. Sifat dan karakteristik air limbah sangat menentukan didalam pemilihan sistem pengolahan air limbah, terutama pada kualitas air limbah yang meliputi parameter-parameter pH, COD, BOD, dan TSS.

Menurut Metcalf dan eddy (2003) Proses biologi anaerobik merupakan salah satu sistem pengolahan air limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme yang bekerja pada kondisi anaerob. Kumpulan mikroorganisme, umumnya bakteri, terlibat dalam transformasi senyawa kompleks organik menjadi metana. Selebihnya terdapat interaksi sinergis antara bermacam-macam kelompok bakteri yang berperan dalam penguraian limbah.

Menurut Metcalf dan eddy (2003) pula, Kelompok bakteri non metanogen yang bertanggung jawab untuk proses hidrolisis dan fermentasi terdiri dari bakteri anaerob fakultatif dan obligat. Mikroorganisme yang diisolasi dari digester anaerobik adalah *Clostridium* spp., *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium* spp., *Desulphovibrio* spp., *Corynebacterium* spp., *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus*, and *Eschericia coli*.

Berikut ini adalah beberapa persamaan yang sekiranya akan digunakan dalam perencanaan. Adapun cara perhitungan debit rata-rata dan debit puncak sebagai berikut:

a. Menginput data debit pemakaian air selama satu tahun dalam Tabel.

Data debit yang berasal dari rekening pemakaian air diinput ke dalam Tabel. Adapun kolom yang disediakan adalah bulan, pemakaian air, dan produksi air limbah.

b. Menghitung produksi air limbah dari pemakaian air bersih.

Air limbah dihitung dengan cara mengasumsikan debit air limbah sebagai 70% pemakaian air. Produksi air limbah selanjutnya diinput juga kedalam tabulasi yang telah dibuat

sebelumnya. Perhitungan air limbah dilakukan dengan persamaan 2.1.

$$Q_{\text{air limbah}} = 70\% \times Q_{\text{air bersih}} \quad (2.1)$$

c. Menghitung debit air limbah rata-rata

Perhitungan debit air limbah rata-rata dilakukan dengan menjumlah seluruh produksi air limbah selama satu tahun kemudian membagi debit tersebut dengan jumlah bulan dalam satu tahun. Perhitungan debit rata-rata menggunakan persamaan 2.2.

$$Q_{\text{ave}} = \frac{\Sigma Q}{12} \quad (2.2)$$

Keterangan :  $Q_{\text{ave}}$  = debit limbah rata-rata ( $\text{m}^3/\text{bulan}$ )

$\Sigma Q$  = jumlah debit dalam 12 bulan ( $\text{m}^3/\text{bulan}$ )

Debit yang diperoleh selanjutnya dikonversi baik dalam satuan  $\text{m}^3/\text{hari}$  maupun dalam satuan  $\text{m}^3/\text{jam}$ . Cara mengkonversi debit disajikan persamaan 2.3 dan 2.4.

$$Q_{\text{ave}} (\text{m}^3/\text{hari}) = \frac{Q(\frac{\text{m}^3}{\text{bulan}})}{30 \text{ hari}} \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{ave}} (\text{m}^3/\text{jam}) = \frac{Q(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}})}{24 \text{ jam}} \quad (2.4)$$

d. Menghitung debit peak

Debit peak dihitung dengan mengalikan debit rata-rata dengan factor peak. Perhitungan debit peak menggunakan persamaan 2.5.

$$Q_{\text{peak}} (\text{m}^3/\text{jam}) = Q_{\text{ave}} \times \text{factor peak} \quad (2.5)$$

## 2.5 Anaerobic Biodigester

Limbah tahu cukup berpotensi dalam menghasilkan biogas. Unit biodigester digunakan untuk mengoptimalkan potensi biogas dari limbah tahu. Pembentukan biogas dipengaruhi beberapa faktor, yaitu:

- 1) Nilai pH  
Produksi biogas secara optimum dapat dicapai bila nilai pH dari input digester berkisar 6-7. Ketika produksi metana dalam kondisi stabil, kisaran nilai pH adalah 7,2-8,2
- 2) Suhu  
Bakteri metanogen dalam keadaan tidak aktif pada kondisi suhu ekstrim tinggi maupun rendah. Produksi gas optimum pada kisaran suhu mesofilik, antara 25°C-35°C
- 3) Laju Pengumpanan  
Kuantitas bahan yang masuk ke digester per unit kapasitas per hari. Apabila pemasukan berlebihan, akan terjadi akumulasi asam
- 4) Waktu tinggal  
Waktu tinggal adalah rata rata periode waktu saat input berada dalam digester dan proses fermentasi oleh bakteri metanogen. Waktu tinggal juga bergantung pada suhu. Makin tinggi suhu, maka makin cepat waktu tinggal dalam digester
- 5) Rasio C/N  
Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang terdapat pada bahan organik. Jika rasio C/N tinggi, produksi methan akan menjadi rendah.
- 6) Racun  
Ion mineral, logam berat, dan detergen adalah beberapa zat beracun yang mempengaruhi pertumbuhan normal bakteri patogen di dalam digester

Ukuran anaerobic digester didasarkan pada waktu tinggal yang dibutuhkan hingga memungkinkan perusakan *volatile suspended solid* (VSS) terjadi. Kriteria sizing yang digunakan adalah (1) *Solid Retention Time* (SRT), waktu rata-rata solid tinggal selama proses *Digestion*, dan (2) *Hydraulic Retention Time* (HRT), waktu rata rata liquid tinggal selama proses *Digestion*. Untuk substrat terlarut, SRT dapat ditentukan dengan membagi Massa Solid (M) dengan Massa solid yang ter removal per harinya (M/d). HRT sama dengan Volume liquid dalam reaktor (m<sup>3</sup>) dibagi dengan jumlah biosolid ter removal (m<sup>3</sup>/d). Untuk sistem digester tanpa recycle, SRT=HRT.

Reaksi hidrolisis, fermentasi, dan methanogenesis berhubungan langsung dengan SRT. Kenaikan atau penurunan dari SRT menghasilkan kenaikan atau penurunan dari ketiga reaksi tersebut. Pada anaerobic digestion, temperatur berperan dalam menentukan laju dari digestion, umumnya adalah laju dari hidrolisis dan pembentukan methan. Kebanyakan sistem anaerobic digestion didesain untuk beroperasi dalam range temperature mesofilik, antara 30-38 °C. (Metcalf & Eddy, 2014)

Bentuk unit dari anaerobic biodigester dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Kriteria disain yang umum digunakan untuk anaerobic digester low-rate dan high-rate dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

*Tabel 2.2 Kriteria Desain Anaerobic Digester*

<b>Parameter</b>	<b>low rate</b>	<b>high rate</b>
Digestion Time, days	30-60	10-20
Organic Solids Loading, kg vss/m <sup>3</sup> .day	0,64-1,60	2,40-6,40
depth (m)	3,66-13,7	
Diameter (m)	4,57-38,1	

(Sumber: Reynold, 1996)

Beberapa persamaan yang digunakan dalam perhitungan unit biodigester ini adalah:

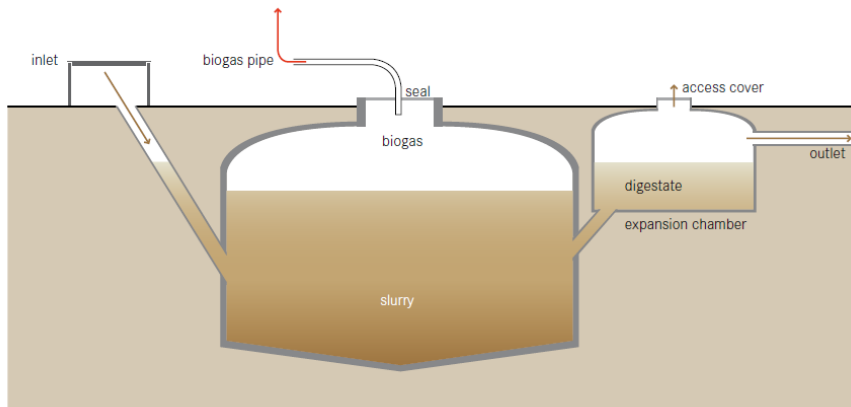
$$\text{Volume digester} = Q \text{ sludge} \times \text{SRT desain} \quad (2.6)$$

$$\text{Solid Retention Time} = \frac{\text{Massa Solid}}{\text{Massa Solid teremoval}} \quad (2.7)$$

$$\text{Hydraulic Retention Time} = \frac{V \text{ liquid dalam reaktor}}{\text{Biosolid teremoval}} \quad (2.8)$$

Pada kondisi tanpa recycle:

$$\text{SRT} = \text{HRT} \quad (2.9)$$



*Gambar 2.2 Anaerobic Digester*

(sumber: Tilley et all, 2014)

Perhitungan Volume:

$$V_{avg} = V_1 - \frac{2}{3}(V_1 - V_2) \quad (2.10)$$

Dimana  $V_{avg}$  = average volume of digesting sludge, m<sup>3</sup>/day

$V_1$  = Volume of fresh sludge added daily, m<sup>3</sup>/day

$V_2$  = Volume digested sludge yang dihasilkan tiap

hari, m<sup>3</sup>/day

$$V_s = V_{avg} \cdot t_d + V_2 \cdot t_s \quad (2.11)$$

Dimana  $V_s$  = total sludge Volume, m<sup>3</sup>

$t_d$  = time required for digestion, days

$t_s$  = time for sludge storage

$$V_{total} = Q \times SRT \quad (2.12)$$

SRT dapat ditentukan dengan mengacu pada temperature seperti pada Tabel 2.3 berikut:

*Tabel 2.3 Retention Time pada digester*

temperature °C	SRT
18	11

temperature °C	SRT
24	8
30	6
35	4
40	4

(Sumber: Reynold, 1996)

## 2.6 Anaerobic Filter

Menurut Morel dan Diener (2006) Anaerobic Filter adalah Pengolahan air limbah terlekat menggunakan biofilm yang bertujuan untuk menyisihkan padatan yang tidak dapat mengendap dan padatan terlarut. Anaerobic Filter menggunakan tangki yang memiliki permukaan luas untuk melekatkan bakteri. Ketika air limbah mengalir melewati filter biasanya dari bawah ke atas (upflow), air limbah akan melakukan kontak dengan biomassa pada filter dan mengalami degradasi anaerobik.

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraian. Sebuah media filter yang baik memiliki 90-300 m<sup>2</sup> luas permukaan setiap m<sup>3</sup> volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. (Sasse, 1998).

Berdasarkan penelitian oleh Said (2000), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada Tabel 2.4 berikut ini.

*Tabel 2.4 Perbandingan luas permukaan spesifik media biofilter*

no	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
1	trickling filter dengan batu pecah	100-200
2	modul sarang tawon (honeycomb modul)	150-240

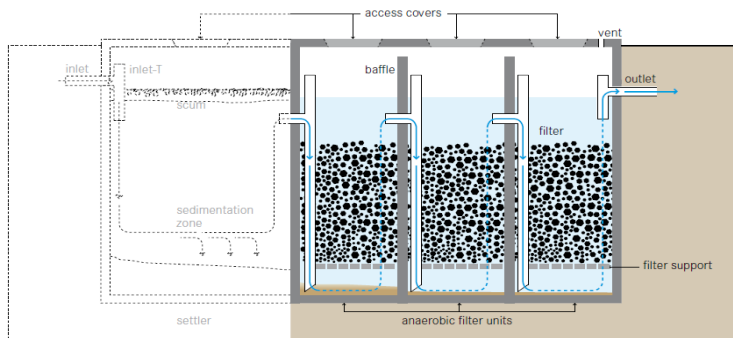
no	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
3	tipe jaring	50
4	RBC	80-150

(Sumber: Said, 2000)

Menurut Sasse (1998), Anaerobic Filter (AF) memiliki kriteria desain sebagai berikut:

Beban Organik	= 4,5 Kg COD/m <sup>3</sup> .Hari
HRT di bak pengendap / tangki septik	= 2 jam
HRT di anaerobik Filter	= 1,5-2 hari
BOD Removal	= 70-90 %
Rasio SS/BOD	= 0,35-0,45
Luas Spesifik Media	= 80-180 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Velocity Upflow	= < 2 m/jam

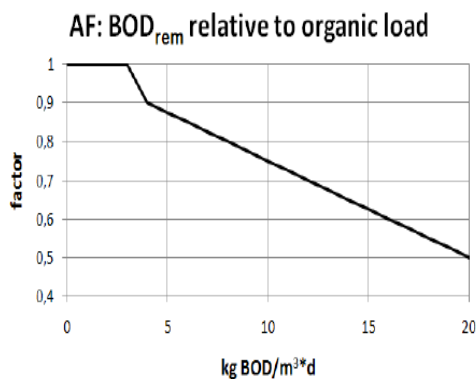
Contoh unit Anaerobic filter dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut



(sumber: Tilley et al, 2014)

*Gambar 2.3 Anaerobic Filter*

Dalam perhitungan performan dari AF, didasarkan pada faktor pengali . Kurva dari faktor terkait dapat dilihat pada Gambar 2.4- 2.9 berikut:



load < 4 kg/m<sup>3</sup>\*d:

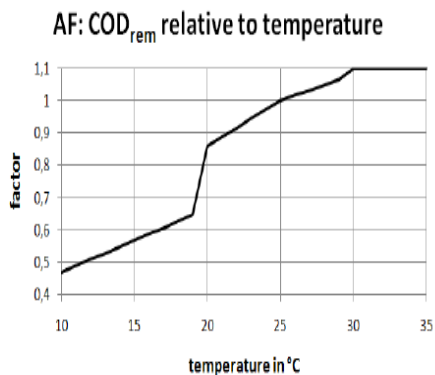
factor = 1.00

load ≥ 4 kg/m<sup>3</sup>\*d:

factor = 1-(load)\*0.4/16

(sumber: Sasse et al. 2009)

Gambar 2.4 Faktor Load



temp < 20 °C:

factor = (temp-10)\*0.39/20+0.47

temp < 25 °C:

factor = (temp-20)\*0.14/5+0.86

temp < 30 °C:

factor = (temp-25)\*0.08/5+1

temp ≥ 30 °C:

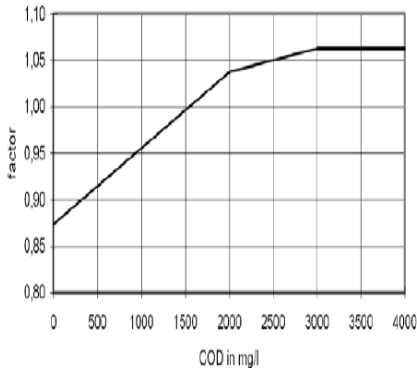
factor = 1.10

(sumber: Sasse et al. 2009)

Gambar 2.5 Faktor Temperatur



anaerobic filter, CODrem in relation to wastewater  
strength



$COD_{in} < 2000 \text{ mg/L}$ :

$$factor = COD_{in} * 0.17 / 2000 + 0.87$$

$COD_{in} < 3000 \text{ mg/L}$ :

$$factor = (COD_{in} - 2000) * 0.02 / 1000 + 1.04$$

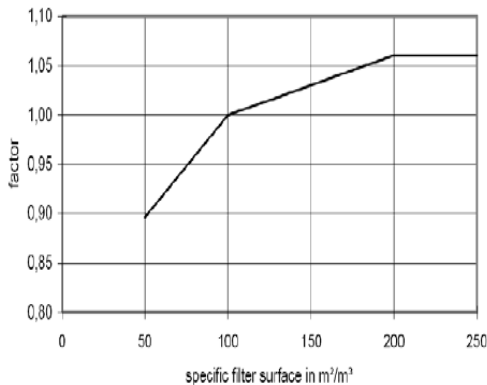
$COD_{in} \geq 3000 \text{ mg/L}$ :

$$factor = 1.06$$

(sumber: Sasse et al. 2009)

Gambar 2.6 Faktor Strength

anaerobic filter, CODrem in relation to specific  
filter surface



$surface < 100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ :

$$factor = (surface - 50) * 0.1 / 50 + 0.9$$

$surface < 200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ :

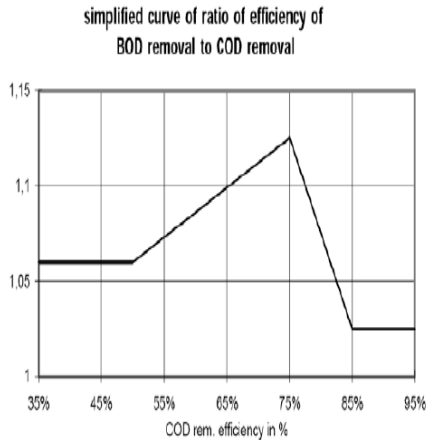
$$factor = (surface - 100) * 0.06 / 100 + 1$$

$surface \geq 200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ :

$$factor = 1.06$$

(sumber: Sasse et al. 2009)

Gambar 2.7 Faktor Surface



$COD_{rem} < 0.5$ :

$factor = 1.06$

$COD_{rem} < 0.75$ :

$factor = (COD_{rem} - 0.5) * 0.065 / 0.25 + 1.06$

$COD_{rem} < 0.85$ :

$factor = 1.125 - (COD_{rem} - 0.75) * 0.1 / 0.1$

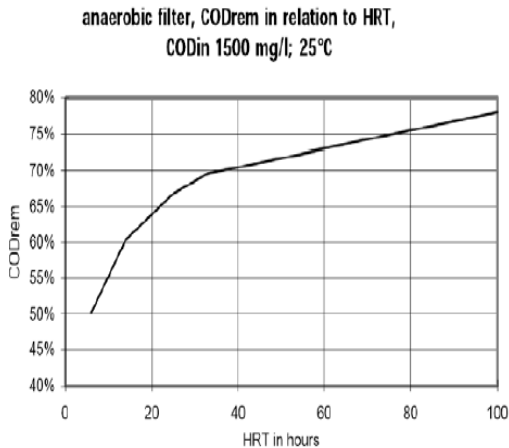
$COD_{rem} \geq 0.85$ :

$factor = 1.025$

$BOD_{rem} = COD_{rem} * factor$

(sumber: Sasse et al. 2009)

Gambar 2.8 Faktor BOD/COD removal



$HRT < 12h$ :

$factor = HRT * 0.16 / 12 + 0.44$

$HRT < 24h$ :

$factor = (HRT - 12) * 0.07 / 12 + 0.6$

$HRT < 33h$ :

$factor = (HRT - 24) * 0.03 / 9 + 0.67$

$HRT < 100h$ :

$factor = (HRT - 33) * 0.09 / 67 + 0.7$

$HRT \geq 100h$ :

$factor = 0.78$

(sumber: Sasse et al. 2009)

Gambar 2.9 Faktor HRT

Adapun perhitungan AF berdasarkan Sasse et al. (2009) dan Duncan Mara adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{peak}} = Q_{\text{ave}} / T \quad (2.13)$$

Dimana:  $Q_{\text{peak}}$  = debit maksimal yang masuk per jam ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

$Q_{\text{ave}}$  = debit rata rata yang masuk per jam ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

$T$  = Waktu aliran air limbah (jam)

COD tersisihkan dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\% \text{CODrem} = 100(1 - \theta^{-0.68}) \quad (2.14)$$

Dimana:

$\% \text{CODrem}$  = presentase penyisihan COD pada bak pengendap

$\theta$  = HRT, waktu tinggal pada bak pengendap (jam)

Persentase CODremoval pada dasarnya sama dengan Persentase BODremoval.

*Upflow Velocity* dari air limbah dalam Anaerobik Filter, yang tidak boleh melebihi 1 m/jam, ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_{\text{up}} = Q/A_{\text{cross}} = QH/AH = H/\theta \quad (2.15)$$

Dimana :  $Q$  = Debit aliran ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

$A_{\text{c}}$  = luas area melintang reaktor ( $\text{m}^2$ )

$H$  = kedalaman air (m)

Desain dari kompartemen selanjutnya ditentukan sebagai berikut:

$$V_{\text{kompartemen}} = A_{\text{c}} \times H \quad (2.16)$$

Jumlah (n) kompartemen sendiri ditentukan dari persamaan berikut

$$n = \frac{Q \times \theta}{H \times Across} = \frac{\theta \times V_{up}}{H} \quad (2.17)$$

Perhitungan *mass balance* AF

Laju efisiensi COD removal  
 = F. Temp x F. Strength x F. Permukaan x F. HRT x (1+(Jumlah Filter x 0,04))  
 (2.18)

COD effluen  
 = COD<sub>influen</sub> – (COD<sub>influen</sub> x % Efisiensi COD Biofilter Anaerobik)  
 (2.19)

Efisiensi BOD  
 = Efisiensi COD Biofilter Anaerobik x BOD/COD removal ratio  
 (2.20)

BOD effluen  
 = BOD<sub>influen</sub> – (BOD<sub>influen</sub> x % Efisiensi BOD Biofilter Anaerobik)  
 (2.21)

Perhitungan luas permukaan media

Volume media = debit x COD / OLR  
 (2.22)

Volume rongga = porositas media filter x volume media  
 (2.23)

$$A_{surface} = Q / HLR$$

(2.24)

Perhitungan kebutuhan media

$$\text{Total tinggi media} = \text{Volume rongga} / A_{\text{Surface}} \quad (2.25)$$

$$\text{Jumlah media} = \text{Tinggi total media} / \text{tinggi satu media} \quad (2.26)$$

Perhitungan dimensi AF

Tentukan rasio perbandingan panjang : lebar (misal 2:1)

$$\text{Lebar} = (A_{\text{surface}}/2)^{1/2} \quad (2.27)$$

$$\text{Panjang} = 2 \times \text{lebar} \quad (2.28)$$

Perhitungan rasio F/M

$$F/M = (Q (S_o - S)) / MLSS \times V \quad (2.29)$$

## 2.7 Wetland

Menurut Halverson (2004), Mekanisme penyerapan polutan dalam lahan basah buatan umumnya melalui proses abiotik (fisik dan kimia) atau biotik (mikroba dan tanaman) dan gabungan dari kedua proses tersebut. Proses secara abiotik meliputi Settling & sedimentasi, Adsorpsi & absorpsi, oksidasi & reduksi, serta volatilisasi. Proses biotik meliputi biodegradasi secara anaerobik/aerobik, *Phyto*-akumulasi, *Phyto*-stabilisasi, *Phyto*-degradasi, dan *Phyto*-volatilisasi.

Beberapa penelitian menunjukkan hasil presentase penurunan polutan misal BOD hingga mencapai 60%-90% (Rizkiansyah, 2016). Keterbatasan wetland dalam meningkatkan kualitas air adalah: (1) kecepatan proses tergantung pada faktor-faktor lingkungan seperti suhu, oksigen, pH, dll; (2) Keterbatasan hidrologis; (3) keterbatasan lingkungan misalnya material organik dan kekurangan oksigen; dan (4) keterbatasan lahan.

Rentang tipikal yang disarankan ditunjukkan pada Tabel 2.5 berikut

*Tabel 2.5 Kriteria desain wetland*

parameter desain	Unit	tipe sistem	
		Free Water Surface	Sub-surface flow system
Hidraulic Detention Time	day	4 - 15	4 – 15
Water Depth	ft	0.3 - 2.0	1.0 - 2.5
BOD <sub>5</sub> Loading Rate	lb/acre	< 60	< 60
Hidraulic Loading Rate	Mgal/acre.d	0.015 - 0.050	0.015 - 0.050
Specific Area	Acre/(Mgal/d)	67 - 20	67 – 20

(Sumber: Metcalf & Eddy, 1991)

Media yang digunakan akan mempengaruhi proses didalam wetland itu sendiri. Menurut Metcalf & Eddy (1991), beberapa karakteristik tipikal media adalah sebagai berikut:

*Tabel 2.6 Karakteristik tipikal media*

media	grain size	porosity	hydraulic conductivity (ft <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup> .d)	hydraulic conductivity (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)
medium sand	1	0,42	1,38	420
coarse sand	2	0,39	1,575	470
gravel sand	8	0,35	1,64	490

(Sumber: Metcalf & Eddy, 1991)

Menurut Hidayah dan Wahyu (2010) ada beberapa tanaman yang bisa digunakan, namun menurut hidayah dan wahyu sendiri, tanaman Cattail (*Typha Angustifolia*) memiliki efisiensi removal yagn lebih baik. Cattail adalah jenis tumbuhan herba serta bersifat kolorfial. Tumbuhan ini mempunyai rizom serta berbentuk panjang dan ramping. Tumbuhan mempunyai jangka

hayat selama beberapa musim dan akan terus membiak apabila mencapai tahap kematangan tumbuh secara rumpun.

Waktu tinggal dan variasi jarak dari tanaman mempengaruhi efisiensi removal pada wetland. Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan oleh Hidayah dan Wahyu (2010), berikut ini adalah efisiensi removal wetland berdasarkan pengaruh waktu tinggal dan jarak tanaman.

Tabel 2.7 Presentase penurunan COD

Waktu (hari)	Jarak tanaman				
	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
	%	%	%	%	%
1 hingga 3	18,4	79,6	83,7	77,6	79,6
6	59,2	81,6	87,6	83,7	81,6
9	71,4	83,7	89,8	85,7	85,7
12	75,5	87,8	91,8	83,7	85,7
15	75,5	85,7	91,8	85,7	87,8

Sumber : Hidayah dan Wahyu, 2010

Tabel 2.8 Presentase penurunan BOD

Waktu (hari)	Jarak tanaman				
	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
	%	%	%	%	%
1 hingga 3	20,6	47,4	59	58	67,3
6	53,5	69,5	70,7	67,3	73,2
9	64,4	76,6	76,3	77,1	74,4
12	69,2	80,2	77,5	71,9	75,6
15	70,6	79	83,2	91,6	87,4

Sumber : Hidayah dan Wahyu, 2010

Tabel 2.9 Presentase penurunan TSS

Waktu (hari)	Jarak tanaman				
	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
	%	%	%	%	%
1 hingga 3	16,7	50	33,3	50	50
6	33,3	50	66,7	50	66,7
9	33,3	66,7	50	66,7	66,7
12	66,7	50	83,3	66,7	66,7
15	50	83,3	66,7	83,3	83,3

Sumber : Hidayah dan Wahyu, 2010

Tabel 2.7 hingga 2.9 menunjukkan efisiensi pengolahan dari wetland menggunakan tanaman Cattail. Umumnya wetland dengan waktu tinggal yang lebih lama memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi untuk menurunkan BOD, COD, serta TSS. Menurut studi dari Tazkiaturrizki (2016), efisiensi removal dari nitrogen dan pospat pada wetland berkisar antara 47,8% hingga 67,8%.

Berdasarkan Metcalf & Eddy (1991), berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan dalam perhitungan wetland:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t') \quad (2.30)$$

$$K_T = K_{20} (1,06)^{(T-20)} \quad (2.31)$$

$$K_{20} = 0,678 \text{ d}^{-1} \quad (2.32)$$

$t'$  didefinisikan sebagai waktu detensi teoritis berdasarkan porositas dari medium.

$$t' = \frac{L W \alpha d}{Q} \quad (2.33)$$

Dimana :  $t'$  = waktu detensi wilayah pori, d

$L$  = panjang basin, ft

$W$  = lebar basin, ft

$\alpha$  = porositas medium basin

$d$  = kedalaman basin, ft

sementara waktu detensi aktual  $t$  dinyatakan oleh persamaan berikut:



$$t = \frac{L}{K_s S} \quad (2.34)$$

dimana  $L$  = panjang basin, ft  
 $k_s$  = konduktivitas hidrolis,  $\text{ft}^3/\text{ft}^2 \cdot \text{d}$   
 $S$  = Slope basin,  $\text{ft}/\text{ft}$

Beberapa persamaan lain menurut Metcalf & Eddy (1991) adalah sebagai berikut:

$$\text{Cross sectional area, } Ac = \frac{Q}{K_s S} \quad (2.35)$$

$$W = \frac{Ac}{d} \quad (2.36)$$

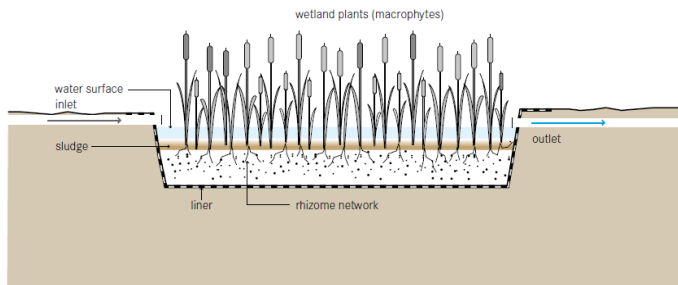
$$L = \frac{t' Q}{W d \alpha} \quad (2.37)$$

$$As = L \times W \quad (2.38)$$

$$\text{Beban } \text{BOD}_5 = \frac{Q \text{ BOD}_{in}}{As} \quad (2.39)$$

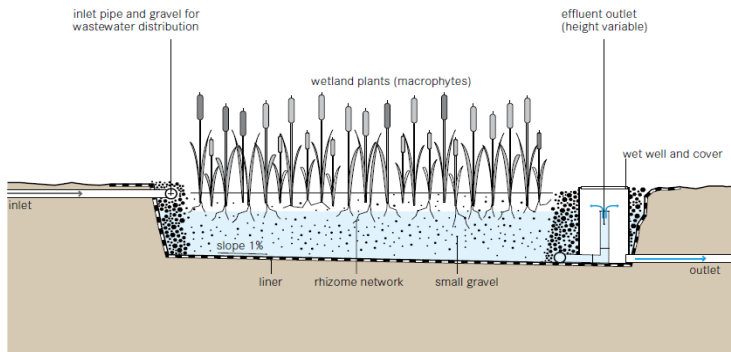
$$\text{HLR} = \frac{Q}{As} \quad (2.40)$$

Berikut adalah contoh unit constructed wetland pada Gambar 2.10 dan 2.11:



(sumber: Tilley et al, 2014)

*Gambar 2.10 Free Water Surface*



(sumber: Tilley et al, 2014)

Gambar 2.11 Sub-surface flow system

## 2.8 Aerobik Biofilter

Aerobik Biofilter adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi (Herlambang, 2001). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi  $\text{CO}_2$ , air, dan amonia.

Menurut Casey (2006), pengolahan air limbah dengan sistem aerobik menggunakan aerobik biofilter memiliki kesamaan konsep dengan trickling filter. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep ini membutuhkan keberadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik. Dalam pengolahan aerobik menggunakan *aerobic biofilter* atau *trickling filter* memanfaatkan teknologi biofilm yang membutuhkan media tumbuh organisme dari materi yang kasar, keras, tajam dan kedap air. Menurut Sunanto (2016), Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain:

1. Jenis media

Bahan untuk media aerobik biofilter harus kuat, keras dan tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, krikil, dan sebagainya.

## 2. Diameter media

Diameter media aerobik biofilter biasanya antara 2,5-3,0. Sebaiknya dihindari penggunaan media dengan ukuran yang terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan penyumbatan. Makin luas permukaan media maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup diatasnya.

## 3. Ketebalan susunan media

Ketebalan media aerobik biofilter minimum adalah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka makin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme

## 4. Ph

Pertumbuhan mikroorganisme khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH antara 4-9,5, dengan pH yang optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman.

## 5. Suhu

Suhu yang baik untuk mikroorganisme adalah 25-37 °C. Selain itu suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis.

Perhitungan unit pengolahan ini didasarkan pada kriteria perencanaan sebagai berikut:

$$\text{Organic Loading rate} = < 6 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari}$$

OLR BOD = 0,3-2,0 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari  
 HRT di pengendap = 2-4 jam  
 HRT di aerobik biofilter = 5-40 jam  
 BOD removal = 80%  
 (sumber : Casey, 2006)

Kebutuhan oxygen dalam sistem dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_{O_2} = [1,5(BOD_{in}-BOD_{eff})Q] \times 10^{-3}/24 \quad (2.41)$$

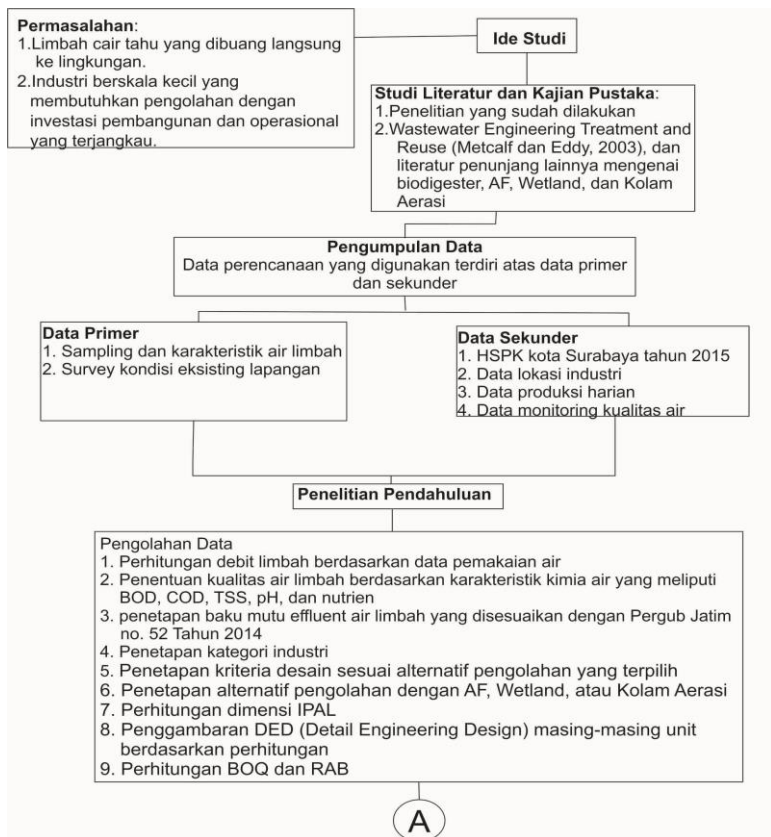
Dimana :  $R_{O_2}$  = massa oksigen dibutuhkan (kg/h)

## BAB 3

### METODE PERENCANAAN

#### 3.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan adalah urutan kegiatan yang akan dilakukan dalam merencanakan desain unit pengolahan air limbah pabrik tahu. Kerangka perencanaan disajikan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Perencanaan



*Gambar 3.1 Kerangka Perencanaan (lanjutan)*

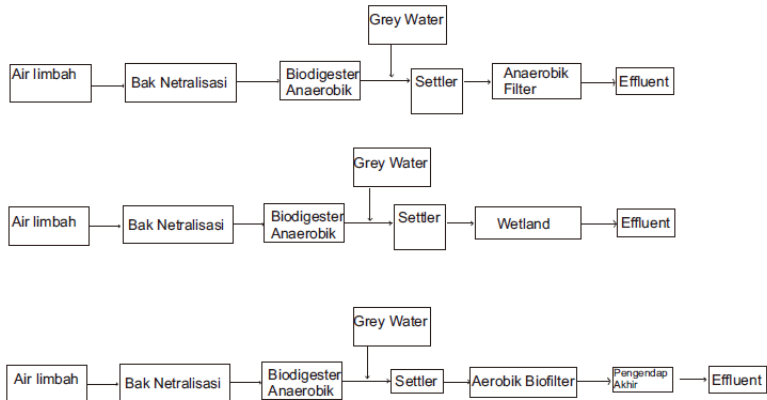
### 3.2 Tahapan Perencanaan

Permasalahan yang terdapat pada perencanaan ini dapat disusun Tahapan perencanaan berisi tentang langkah-langkah yang akan dilakukan dalam perencanaan. Tahapan perencanaan ini adalah penemuan ide studi/ ide perencanaan/ ide tugas akhir, pelaksanaan studi literatur, pengumpulan data baik primer maupun sekunder, pelaksanaan perencanaan yang berupa perhitungan dan Gambar, dan pembuatan laporan akhir.

perencanaan ini secara garis besar dibagi dalam 2 tahap. Tahap pertama merupakan tahap pengambilan data dimana data akan diambil dari 10 industri tahu di kota surabaya. Pada tahap pertama ini akan dikhususkan pada data sekunder, tujuannya adalah agar perencana mampu membuat dan menentukan 3 kategori industri tahu berdasarkan kapasitas produksinya. Selanjutnya dari ketiga kategori yang telah ditentukan, diambil 1 industri tahu di tiap kategorinya guna dilakukan pengambilan data primer dan perencanaan lanjutan.

Tahap kedua merupakan tahap pengolahan data dan penulisan laporan.pada tahap ini akan dibahas lebih rinci mengenai kualitas limbah, alternatif unit IPAL, DED IPAL industri tahu, serta BOQ dan RAB. Pilihan alternatif unit sendiri dapat

dilihat pada Gambar 3.2. Terdapat 3 alternatif unit yang akan digunakan dalam pengolahan yaitu : Anaerobik Filter, Wetland, dan Aerobik Biofilter yang nantinya dipilih sesuai kebutuhan.



*Gambar 3.2 Alur dan alternatif pengolahan*

### 3.2.1 Batasan Masalah

Menetapkan ide tugas akhir yang akan direncanakan. Ide tugas akhir ini adalah fakta bahwa limbah cair Industri Kecil Rumah Tangga (IKRT) tahu, menimbulkan masalah pada lingkungan sekitar. karakteristik limbah tahu yang mencemari lingkungan terutama badan air, dan industri berskala kecil yang membutuhkan pengolahan limbah dengan investasi pembangunan dan operasional yang terjangkau.

Karena hal itu, dibutuhkan tipikal desain suatu unit pengolahan air limbah cair tahu untuk mengurangi beban pencemaran dihasilkan, dan yang dapat memberikan keuntungan bagi pemilik industri. Selain itu, tipikal desain ini nantinya dapat digunakan pada industri tahu pada umumnya.

### 3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan dasar teori yang mendukung tugas akhir ini. Sumber literatur yang digunakan berasal dari buku, internet, jurnal, *prosiding* dan laporan tugas akhir yang dilakukan sebelum dan saat perencanaan berlangsung.

### **3.2.3 Pengumpulan Data**

Dalam studi ini data yang dikumpulkan terdiri dari 2 macam data yaitu data primer dan data sekunder.

#### **a. Data Primer**

Data primer yang diperlukan dalam perencanaan ini terdiri atas karakteristik air limbah serta kondisi eksisting di wilayah industri tahu. Data Kondisi eksisting yang diperlukan adalah jam operasional industri tahu, pemakaian air untuk produksi, dan ketersediaan lahan.

##### **1. Sampling dan analisis karakteristik air limbah**

Sampling air diperlukan untuk mengetahui karakteristik kimia yang ada dalam air limbah industri tahu. Sampling dilakukan secara *grab sampling* dengan cara mengambil contoh air limbah pada saluran pembuangan limbah industri tahu atau bak penampung sebelum dilakukan pengolahan. Sampling yang dilakukan didasarkan pada SNI 6989.59:2008. Sampling dilakukan pada 3 titik berbeda dimana ketiga titik tersebut berada dalam 3 *home industry* tahu berbeda dan pada 3 hari berbeda.

Penentuan 3 industri tahu didasarkan atas kategori produksi, yaitu besar, sedang, dan kecil, dimana diambil 1 industri tahu pada tiap kategorinya. Sampel diambil pada titik setelah proses, sebelum memasuki unit pengolahan. Sampel air limbah, selanjutnya akan diuji untuk mengetahui karakteristik dari limbah cair industri tahu. Karakteristik ini meliputi BOD, COD, TSS, pH, N, P, dan alkalinitas.

##### **2. Survey Kondisi Eksisting di Lapangan**

Survey kondisi eksisting diperlukan untuk mengetahui kondisi yang digunakan untuk menunjang perencanaan. Dengan adanya survey lapangan diharapkan agar hasil perencanaan yang telah dilakukan dapat diterapkan dengan baik, sehingga akan mempermudah implementasi dari hasil perencanaan yang telah dilakukan.

Survey kondisi eksisting yang diperlukan dalam perencanaan ini berkaitan dengan operasional pabrik. Data-data tersebut selanjutnya menjadi acuan dalam mendesain IPAL. Survey dilakukan dengan cara pengamatan langsung di lapangan dengan cara melakukan kunjungan ke lokasi perencanaan. Selain



itu informasi yang diperlukan dapat pula ditanyakan kepada staf atau karyawan yang bertugas di tempat.

Beberapa data yang diharapkan adalah:

a. Jam Operasional

Lama operasional memberikan informasi kepada perencana mengenai lama limbah yang dihasilkan oleh suatu proses produksi. Informasi ini juga memberikan Gambaran jam puncak pemakaian air. Sehingga membantu perencana untuk memperoleh nilai faktor puncak untuk unit yang akan direncanakan.

Informasi mengenai jam operasional juga membantu perencana dalam mendesain unit IPAL seperti *Equalization Tank*. Hal ini diperlukan agar desain dari unit tersebut tidak terlalu besar maupun terlalu kecil.

b. Pemakaian Air untuk Produksi

Dalam pemakaian air dalam suatu industri tidak semua air digunakan untuk kebutuhan produksi. Namun sebagian penggunaan air juga dimanfaatkan dalam kegiatan yang menghasilkan limbah domestik seperti kamar mandi, dapur atau kantin pabrik.

Informasi pemakaian air untuk keperluan produksi diperlukan untuk menentukan jumlah sampel yang perlu diambil untuk effluen pabrik maupun effluen kegiatan domestik pabrik. Sehingga hasil analisa kualitas air lebih representatif

c. Ketersediaan Lahan

Ketersediaan lahan pada lokasi industri menjadi salah satu faktor agar perancangan yang dilakukan dapat diimplementasikan. Hal ini disebabkan karena setiap unit pengolahan yang direncanakan akan memakai sejumlah luasan lahan. Informasi mengenai ketersediaan lahan juga membantu perencana dalam menentukan alternatif pengolahan yang tepat.

**b. Data Sekunder**

Data sekunder merupakan data yang didapat melalui pihak ketiga, atau bukan merupakan hasil pengamatan langsung di lapangan oleh perencana. Data sekunder yang diperlukan dalam perencanaan dapat berupa dokumen maupun Gambar. Data sekunder yang diperlukan dalam perencanaan ini adalah

dokumen HSPK (Harga Satuan Pokok Kegiatan), data lokasi industri tahu, data produksi harian, dan data monitoring kualitas air

1. HSPK Kota Surabaya Tahun 2016

HSPK berisikan data mengenai jenis kegiatan konstruksi beserta dengan harga satuan dari setiap kegiatan. Sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan BOQ dan RAB dari IPAL yang telah didesain.

2. Data Lokasi Industri Tahu

Data lokasi industri tahu memberikan informasi lokasi mengenai industri tahu yang masih aktif melakukan produksi di kota Surabaya. Informasi yang diperoleh digunakan untuk mempermudah perencana mengunjungi lokasi industri dalam rangka pengambilan data primer. Data lokasi industri tahu didapatkan melalui dinas terkait, dalam hal ini adalah departemen lingkungan hidup dan dinas perindustrian.

3. Data Produksi Harian

Data Produksi Harian memberikan informasi mengenai berapa banyak tahu yang dihasilkan dalam satu kali kegiatan produksi. Informasi mengenai produksi harian ini digunakan untuk menentukan kategori produksi pada industri tahu di kota Surabaya. Data Produksi Harian didapatkan melalui dinas terkait, dalam hal ini adalah dinas perindustrian kota Surabaya serta didapatkan dari industri yang bersangkutan. Data produksi harian akan diambil selama rentang waktu 7 hari.

4. Data Monitoring Kualitas Air

Data monitoring kualitas air memberikan informasi kualitas air limbah industri tahu yang telah dilakukan dinas terkait secara berkala. Informasi ini digunakan untuk mempermudah perencana dalam menentukan unit pengolahan yang digunakan. Data monitoring kualitas air didapatkan melalui dinas terkait, dalam hal ini adalah departemen lingkungan hidup kota Surabaya.

### **3.2.4 Penelitian Pendahuluan**

Penelitian pendahuluan digunakan untuk mengetahui karakteristik dari limbah cair industri tahu. Karakteristik ini meliputi BOD, COD, TSS, pH, N, P, dan alkalinitas. Hasil dari Penelitian pendahuluan ini akan digunakan dalam penentuan unit pengolahan yang digunakan.

### **3.2.5 Pengolahan Data**

Pengolahan data dilakukan setelah data-data yang dibutuhkan telah dikumpulkan. Adapun pengolahan data yang dilakukan meliputi :

#### **1. Perhitungan debit air limbah serta karakteristik air limbah serta karakteristik kimia dari limbah industri tahu.**

Debit perencanaan diperoleh dari pemakaian air untuk produksi yang digunakan oleh industri. Dari data penggunaan air selanjutnya dihitung penggunaan air rata-rata dari industri tersebut. Selain itu dihitung pula debit puncak dari industri tersebut yang akan digunakan dalam desain. Debit puncak dari desain diperoleh dengan mengalikan antara debit rata-rata hasil perhitungan dengan faktor peak.

Karakteristik kimiawi limbah diperoleh melalui analisa laboratorium. Karakteristik kimia yang diperoleh antara lain BOD, COD, TSS, pH, N, P, dan alkalinitas. Karakteristik kimia diperlukan untuk mengetahui proses pengolahan apa yang sesuai untuk mengolah limbah cair industri kertas. Selain itu dapat ditentukan juga tahapan pengolahan yang diperlukan untuk mengolah air limbah agar memenuhi baku mutu.

#### **2. Penetapan baku mutu effluent air limbah yang disesuaikan dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur no 52 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah Cair .**

Hasil laboratorium mengenai kualitas kimiawi limbah cair selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu. Nilai baku mutu yang digunakan dalam perencanaan ini adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur no 52 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah Cair .

Baku mutu digunakan sebagai nilai pembanding untuk mengetahui apakah limbah yang telah diolah atau dihasilkan industri sudah memenuhi syarat untuk dibuang ke badan air. Selain itu, baku mutu juga dapat menjadi acuan dalam perencanaan ini untuk mengetahui berapa nilai polutan yang perlu disisihkan agar dapat memenuhi baku mutu. Setelah mengetahui nilai polutan yang perlu disisihkan dapat diketahui pula berapa tahapan pengolahan yang diperlukan.

#### **3. Penetapan kategori Industri**

Pada perencanaan ini, industri tahu dikategorikan berdasarkan produksinya menjadi besar, sedang, dan kecil. Selanjutnya desain pengolahan dibuat dengan mengacu pada kategori tersebut

#### **4. Penetapan kriteria desain sesuai dengan pustaka textbook dan jurnal.**

Kriteria perencanaan yang digunakan diambil dari textbook seperti Metcalf and eddy (2014) dan sasse *et al.*(2009). Kriteria lain yang diambil juga berasal dari jurnal-jurnal terkait pengolahan air limbah industri tahu.

#### **5. Penetapan alternatif pengolahan yang akan digunakan.**

Alternatif pengolahan yang digunakan dalam perencanaan ini ada tiga unit. Pada alternatif pertama menggunakan unit AF, Alternatif kedua menggunakan wetland, dan Alternatif ketiga menggunakan kolam aerasi.

#### **6. Perhitungan dimensi unit pengolahan yang telah ditetapkan berdasarkan kriteria desain menggunakan excel.**

Perhitungan ditetapkan dilakukan berdasarkan pada kriteria desain yang telah ditetapkan sebelumnya berdasarkan literatur. Adapun hal yang perlu dihitung dari setiap bangunan terkait dengan dimensi baik bangunan maupun saluran serta aspek hidrolika yang ada pada bangunan tersebut (kecepatan saluran, kecepatan dalam bangunan, dll). Selain itu dalam perhitungan juga perlu dilakukan perhitungan baik terhadap kebutuhan pompa (jika diperlukan) serta peralatan tambahan yang perlu ditambahkan dalam bangunan (misal: media filter).

#### **7. Penggambaran DED (*Detail Engineering Design*) masing-masing unit berdasarkan perhitungan menggunakan AutoCAD 2007.**

Gambar detail merupakan tahap selanjutnya setelah dilakukan perhitungan dimensi unit pengolahan. Dalam Gambar detail perlu digambarkan bentuk dari unit pengolahan secara jelas baik bentuk dan ukuran unit bangunan.

Gambar detail yang perlu dipersiapkan terdiri atas :

- a. Layout tiap alternatif pengolahan
- b. Denah tiap unit bangunan
- c. Potongan memanjang dan melintang tiap unit bangunan

d. Profil hidrolis tiap alternatif

**8. Perhitungan BOQ (*Bill of Quantity*) berdasarkan DED dan RAB (Rencana Anggaran Biaya) berdasarkan SNI DT-91 tentang pekerjaan bangunan dan HSPK Kota Surabaya tahun 2017 menggunakan program microsoft excel serta perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan.**

Perhitungan BOQ (*Bill of Quantity*) dan RAB (Rencana Anggaran Biaya) didasarkan pada Gambar DED yang telah dibuat. Dalam perhitungan volume pekerjaan mengacu pada SNI DT-91 tentang pekerjaan bangunan. Sedangkan perhitungan RAB didasarkan pada HSPK Kota Surabaya tahun 2017.

Dalam proses perhitungan perlu diperhatikan koefisien dan satuan pekerjaan. Hal ini diperlukan karena berkaitan dengan nilai atau harga setiap satuan pekerjaan. Sehingga perhitungan volume pekerjaan harus dilakukan dengan teliti.

### **3.2.6 Analisis Hasil Perencanaan**

Hasil dan pembahasan digunakan untuk memperjelas data yang telah diolah. Hasil dan pembahasan meliputi aspek teknis dan biaya yang terdiri dari :

**1. Karakteristik limbah cair industri tahu**

Hasil analisa laboratorium selanjutnya dilakukan pembahasan terkait kualitas limbah industri tahu. Pembahasan meliputi nilai parameter limbah cair seperti BOD, COD, TSS, pH, dan nutrien; kekuatan limbah (BOD strength) serta hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan limbah.

**2. *Detail Engineering Design* (DED) Instalasi Pengolahan Air Limbah industri tahu.**

Gambar detail merupakan visualisasi dari hasil perhitungan dimensi unit bangunan. Dari Gambar detail dapat diperoleh informasi mengenai ukuran, volume pekerjaan serta kebutuhan lahan dari kedua alternatif perencanaan. Selain itu, dengan mengetahui kebutuhan lahan untuk setiap alternatif dapat dilakukan analisa alternatif mana yang memerlukan lahan lebih sedikit dan memiliki efisiensi yang tinggi.

### **3.3 BOQ dan RAB IPAL**

Hasil perhitungan BOQ dan RAB dari dua alternative selanjutnya dianalisa. Analisa berkaitan dengan jumlah masing-masing volume pekerjaan dari dua alternatif serta biaya yang diperlukan untuk pembangunan IPAL masing-masing alternatif

#### **3.3.1 Kesimpulan dan Saran**

Tahap kesimpulan dan saran dilakukan setelah tahap evaluasi atau tahap perencanaan ulang, pada tahap ini diperoleh kesimpulan dari perencanaan unit pengolahan khususnya efisiensi unit pengolahan.

#### **3.3.2 Pembuatan Laporan**

Laporan akhir berisi hasil perhitungan, Gambar, hasil dokumentasi dan disertai kesimpulan dan saran. Laporan akhir dibuat sesuai format laporan akhir yang ditetapkan oleh Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.

## BAB 4

### PERENCANAAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Industri Tahu di Surabaya

Berdasarkan data yang didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup kota Surabaya, terdapat 10 industri tahu yang masih beroperasi di Surabaya. Daftar industri tahu di kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 2.1. Penulis selanjutnya mengunjungi industri terkait guna mendapatkan data tambahan tentang penggunaan kedelai dan produksi harian tiap industri. Data tersebut ditampilkan pada Tabel 4.1.

Menurut survei yang dilakukan oleh penulis, umumnya dalam 1 kali proses memasak tahu dibutuhkan waktu sekitar 30 menit dan 16 kg bahan baku kedelai. Dari 1 kali proses memasak bisa dihasilkan 4 hingga 5 papan tahu dimana tiap papan biasanya dibagi menjadi 40 potong tahu. Tiap potong tahu sendiri beratnya bervariasi tergantung produsen, berkisar antara 100 hingga 125 gram per potong. Dalam perencanaan ini penulis menggunakan nilai yang lebih sering ditemui di lapangan, yaitu satu kali proses memasak menghasilkan 4 papan tahu dengan berat 125 gr per potong tahu.

Berdasarkan Tabel 4.1 pula, diketahui industri tahu sumber kencono memiliki produksi harian paling tinggi yaitu sekitar 880 kg per hari dan industri tahu kenjeran memiliki produksi harian terendah yaitu 40 kg per hari

*Tabel 4.1 Produksi dan Pemakaian*

no	industri tahu	produksi (kg)	pemakaian kedelai (kg)
1	Bintang	560	448
2	Halim	340	272

no	industri tahu	produksi (kg)	pemakaian kedelai (kg)
3	Kedungtarukan	760	608
4	Tambang Boyo	320	256
5	Karang Asem	240	192
6	Legowo	200	160
7	Saudara	800	640
8	Sumber Kencono	880	704
9	Kenjeran	40	32
10	Fusia	60	48

Sumber : Survei

Berdasarkan produksi hariannya, Industri tahu selanjutnya dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu besar, menengah, dan kecil. Hasil pengelompokan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Dari tiap pengelompokan tersebut, penulis mengambil satu industri untuk di desain IPAL nya. Industri terpilih adalah kedung tarukan, tambang boyo dan kenjeran. Kedung Tarukan mewakili industri tahu dengan produksi diatas 500 kg, Tambang Boyo mewakili industri tahu dengan produksi antara 100-500 kg, dan kenjeran mewakili industri tahu dengan produksi di bawah 100 kg. Ketiganya dipilih atas dasar kemudahan pengambilan data.

*Tabel 4.2 Pengelompokan Industri*

No	Industri Tahu	Produksi (kg)	Pemakaian Kedelai (kg)
1	Sumber Kencono	880	704
2	Saudara	800	640
3	Kedungtarukan	760	608
4	Bintang	560	448
5	Halim	340	272
6	Tambang Boyo	320	256



No	Industri Tahu	Produksi (kg)	Pemakaian Kedelai (kg)
7	Karang Asem	240	192
8	Legowo	200	160
9	Fusia	60	48
10	Kenjeran	40	32

Pada perencanaan ini, debit yang digunakan disesuaikan dengan literatur yang dituliskan oleh potter dkk (1994), dimana disebutkan bahwa dalam 1 kg bahan baku kedelai menghasilkan limbah cair sebanyak 15-20 L. Tabel 4.3 akan menunjukkan lebih lanjut besarnya debit limbah produksi.

*Tabel 4.3 Debit Limbah Produksi*

No	Industri Tahu	Pemakaian Kedelai (kg)	Debit Limbah Produksi (L)
1	Sumber Kencono	704	10560
2	Saudara	640	9600
3	Kedungtarukan	608	9120
4	Bintang	448	6720
5	Halim	272	4080
6	Tambang Boyo	256	3840
7	Karang Asem	192	2880
8	Legowo	160	2400
9	Fusia	48	720
10	Kenjeran	32	480

Sumber : hasil perhitungan

## 4.2 Kondisi Industri Tahu Terpilih

### 4.2.1 Kedung Tarukan

Kedung Tarukan merupakan industri tahu terpilih dalam kategori produksi harian besar dimana berada diatas angka 500

kg/hari. Industri ini bertempat di jl kedung tarukan no 12 kota Surabaya dengan produksi harian kurang lebih 760 kg tahu. Industri ini memproduksi tahu mulai pukul 7.00 WIB hingga pukul 12.00 WIB.

Sebagai industri yang termasuk dalam usaha kecil menengah, sang pemilik berkediaman di lokasi industri itu sendiri dengan total 5 penghuni dan 18 karyawan yang membantu proses produksinya. Lokasi dan perkiraan alokasi lahan IPAI dapat dilihat pada Gambar lampiran

#### 4.2.2 Tambang Boyo

Tambang boyo merupakan industri tahu terpilih dalam kategori produksi harian menengah, antara 100 hingga 500 kg/hari. Industri ini bertempat di jl tambang boyo no 132-134 kota surabaya, dengan produksi harian kurang lebih 320 kg tahu. Waktu produksi dimulai pukul 7.00 WIB hingga kurang lebih pukul 12.30 WIB.

Pemilik industri merupakan sepasang suami istri yang sudah cukup berumur. Tambang boyo memiliki 9 orang karyawan dalam proses produksinya. Lokasi dan perkiraan alokasi lahan IPAL dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.2.3 Kenjeran

Kenjeran merupakan industri tahu terpilih dalam kategori produksi kecil berada di bawah 100 kg/hari. Industri ini bertempat di jl raya kenjeran kota Surabaya. Industri ini dikenal dengan nama tahu Sedap oleh masyarakat sekitar. Saat ini sang pemilik mulai mengalihkan fungsi dari pabrik tahu itu sendiri, sehingga produksi tahu sudah jauh berkurang daripada beberapa tahun sebelumnya. Pada produksinya, pabrik memproduksi sekitar 40 kg tahu per harinya . Umumnya proses produksi dimulai pukul 5.00 WIB hingga pukul 8.00 WIB atau hingga selesai. Pada proses pembuatan tahu, pabrik mengumpulkan limbah cair hasil pembuatan tahu di satu tempat. Sebagian dari limbah cair digunakan kembali sebagai biang tahu untuk proses pembuatan esok hari, sementara yang lain dibuang pada hari yang sama.

Pemilik industri beserta keluarga dengan jumlah total 5 orang bertempat tinggal di lokasi industri dan memiliki 5 orang karyawan yang membantu proses produksi. Lokasi dan perkiraan alokasi lahan IPAL dapat dilihat pada lampiran

### 4.3 Perencanaan IPAL

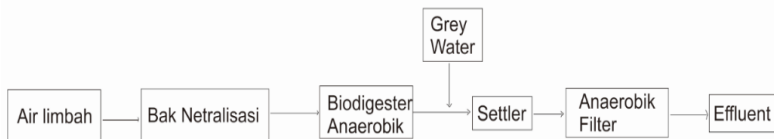
Setelah melalui tahap survey, penulis menemukan bahwa kondisi lahan yang memungkinkan untuk penempatan IPAL sangat terbatas. Denah industri dan Gambar ketersediaan lahan terlampir. Ketersediaan lahan dapat dilihat pada Tabel berikut:

*Tabel 4.4 Lahan Tersedia*

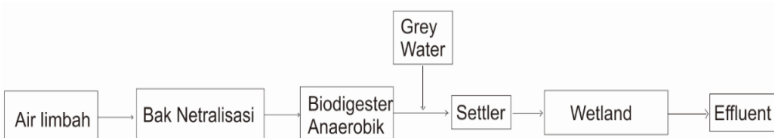
kenjeran	tambang boyo	kedung tarukan
88 m <sup>2</sup>	123 m <sup>2</sup>	176 m <sup>2</sup>

Keterbatasan lahan ini mempengaruhi pilihan alternatif yang bisa digunakan.

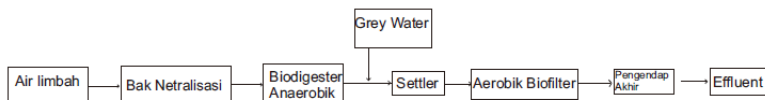
Garis besar pengolahan limbah ditunjukkan pada Gambar 4.1 hingga 4.13 dimana limbah tahu akan diolah dalam digester dan selanjutnya effluent dari digester bersama dengan grey water diolah dengan pengolahan lanjutan. Alternatif pengolahan terdiri dari Anaerobik Filter, wetland, dan Aerobik biofilter.



Gambar 4.1 Alternatif pengolahan 1



Gambar 4.2 Alternatif pengolahan 2



Gambar 4.3 Alternatif pengolahan 3

Pada alternatif pengolahan ke 3 diperlukan adanya unit pengendap tambahan setelah unit Aerobik Biofilter. Hal ini dikarenakan dalam proses aerobik, akan terbentuk lapisan biofilm pada bed media. Lapisan biofilm ini seiring waktu akan terkelupas, sehingga perlu ditambahkan unit pengendap akhir untuk mengendapkan biofilm.

Berikut ini adalah beberapa kelebihan dan kekurangan dari tiap unit berdasarkan beberapa literatur

Tabel 4.5 pertimbangan

UNIT	KELEBIHAN	KEKURANGAN
Anaerobic Filter	lumpur yang dihasilkan rendah	penyisihan pathogen dan nutrient rendah
	tidak dibutuhkan energi listrik	start up sulit
	Removal organik tinggi	resiko clogging
	HRT pendek	membutuhkan desain dan konstruksi ahli
	tidak diperlukan mechanical mixing	
	kebutuhan lahan kecil	
	masa pakai lama	
	biaya operasi rendah	
wetlands	tidak dibutuhkan energi listrik	dapat menjadi tempat pembiakan nyamuk
	biaya operasi rendah	membutuhkan lahan yang luas

UNIT	KELEBIHAN reduksi BOD, SS, dan patogen tinggi	KEKURANGAN  waktu start up yang lama
	tidak diperlukan mechanical mixing	membutuhkan desain dan konstruksi ahli
		resiko clogging
Aerobik Filter	tahan terhadap organik dan hidraulik shock load	membutuhkan desain dan konstruksi ahli
	reduksi organik dan patogen tinggi	konsumsi energi yang tinggi
	Kebutuhan lahan kecil	biaya operasi yang tinggi
		O&M membutuhkan personel ahli

#### 4.4 Desain unit IPAL

Desain unit IPAL dilakukan dengan mempertimbangkan kriteria desain pada tiap unit agar desain yang diperoleh dapat bekerja dengan baik. Pada pembahasan ini akan ditampilkan perhitungan desain untuk pabrik tahu Tambang Boyo. Beberapa parameter awal yang perlu diketahui adalah sebagai berikut:

##### 4.4.1 Kualitas Air Limbah

Berikut ini adalah Kualitas air limbah dari ketiga pabrik tahu

Tabel 4.6 Kualitas Air Limbah Kenjeran

Kenjeran		
Parameter	Hasil Analisa	Satuan
pH	3,9	oC
TSS	1070	mg/L
COD	4962	mg/L
BOD	3026	mg/L
Nitrogen	794,9	mg/L
Pospat	116,12	mg/L

CO <sub>2</sub>	2150	mg/L
HCO <sub>3</sub>	1350	mg/L

Tabel 4.7 Kualitas Air Limbah Tambang boyo

Tambang Boyo		
Parameter	Hasil Analisa	Satuan
pH	4,6	°C
TSS	940	mg/L
COD	5532	mg/L
BOD	3374	mg/L
Nitrogen	935,96	mg/L
Pospat	231,87	mg/L
CO <sub>2</sub>	2250	mg/L
HCO <sub>3</sub>	450	mg/L

Tabel 4.8 Kualitas Air Limbah Kedung Tarukan

Kedung Tarukan		
Parameter	Hasil Analisa	Satuan
pH	4,65	°C
TSS	1340	mg/L
COD	2912	mg/L
BOD	1776	mg/L
Nitrogen	353,87	mg/L
Pospat	139,74	mg/L
CO <sub>2</sub>	1350	mg/L
HCO <sub>3</sub>	640	mg/L

Apabila kita membanding kualitas limbah dari ketiga pabrik terpilih, pabrik kenjeran dengan produksi paling rendah memiliki nilai BOD yang berkisar antara 3000 mg/L, demikian halnya dengan

pabrik Tambang Boyo yang merupakan pabrik dengan kategori produksi dibawah 350 kg tahu/hari dengan nilai BOD yang berkisar antara 3000 mg/L. Namun berbeda dengan pabrik Kedung Tarukan yang merupakan pabrik dengan kategori produksi diatas 350 kg tahu/hari dengan nilai BOD berkisar antara 1700 mg/L, hampir separuh dari kedua pabrik lainnya.

Perbedaan beban ini sendiri kemungkinan besar terjadi karena adanya pengenceran. Pengambilan sampel pada pabrik kedung tarukan diambil terlalu siang, sebagian alat masak sudah dibereskan dan dibersihkan. Air yang digunakan untuk membersihkan bercampur dengan limbah tahu dalam saluran pembuangan, sehingga terjadi pengenceran disana.

Tahu dari ketiga pabrik diproduksi dengan cara yang sama, sehingga seharusnya perbedaan kualitas limbah dari ketiganya tidak jauh berbeda. Untuk menghindari perencanaan unit yang tidak sesuai, maka effluent dari ketiga pabrik untuk parameter COD dan BOD disamakan menggunakan nilai tertinggi yang telah tercatat. Sehingga parameter ketiga pabrik adalah COD 5532 mg/L dan BOD 3374 mg/L.

#### 4.4.2 Desain Unit Anaerobik Biodigester

Anaerobik Biodigester digunakan pada pengolahan limbah tahu ini karena diharapkan limbah tahu menghasilkan gas methan yang nantinya bisa dimanfaatkan kembali, baik dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam proses pembuatan tahu, maupun untuk digunakan sehari hari. Selain itu, anaerobik biodigester juga mampu menurunkan kualitas dari limbah.

Pada sub bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai proses dan beberapa faktor yang mempengaruhi proses terbentuknya biogas. Salah satu poin utama dalam faktor tersebut adalah nilai pH, dimana kualitas air limbah dari ketiga pabrik memiliki pH yang rendah dibawah 7,2. Maka dari itu perlu adanya unit tambahan untuk menetralkan limbah. Perhitungan untuk unit Anaerobik biodigester adalah sebagai berikut:

### **Perhitungan Unit Bak Netralisasi**

Diketahui:

$$Q = 3840 \text{ L/hari} = 3,84 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Direncanakan:

$$\text{HRT} = 1 \text{ Hari}$$

$$\text{Kedalaman (d)} = 1,5 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} V. \text{ efektif} &= Q \times \text{HRT} \\ &= 3,84 \text{ m}^3 \\ &= 4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan bak berbentuk persegi dengan  $P : L = 1 : 1$

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{\frac{V}{d}} \\ &= 1,63 \text{ m} \\ L &= 1,63 \text{ m} \\ \text{Freeboard} &= 0,35 \text{ m} \end{aligned}$$

Bak netralisasi direncanakan menggunakan sistem batch, dimana limbah tahu dikumpulkan selama prosesnya. Kapur selanjutnya dibubuhkan secara manual dan diaduk secara manual pula.

### **Pembubuhan Kapur**

Diketahui

$$\text{pH} = 4,6$$

$$Q = 3840 \text{ L}$$



$$= 3840 \text{ kg}$$

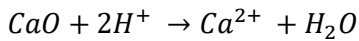
$$= 3.840.000 \text{ gr}$$

$$[H^+] = 10^{-4,6}$$

$$\text{Mol } [H^+] = [H^+] \cdot Q$$

$$= 96,456 \text{ mol}$$

Untuk mencapai pH = 7



$$\text{Mol CaO} = \frac{1}{2} \text{ Mol } [H^+]$$

$$= 48,228 \text{ mol}$$

$$\text{gr CaO} = \text{Mol CaO} \cdot \text{Mr CaO}$$

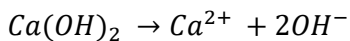
$$= 2700,78 \text{ gr}$$

Untuk mencapai pH = 7,2

$$\text{pOH} = 6,8$$

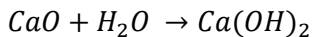
$$[OH^-] = 10^{-6,8} \text{ M}$$

$$= 1,58 \times 10^{-7}$$



$$\text{Ca(OH)}_2 = \frac{1}{2} \cdot [OH^-]$$

$$= 7,92 \times 10^{-8}$$



$$\text{gr CaO} = \text{Ca(OH)}_2 \cdot Q \cdot \text{Mr}$$

$$= 17,04 \text{ gr}$$

$$\text{Total CaO} = 2717,82 \text{ gr}$$

$$= 2,7 \text{ kg}$$

Sehingga dibutuhkan 2,7 kg kapur per harinya. Kebutuhan kapur perhari untuk tiap kategori industri dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Kebutuhan Kapur

Industri	Kebutuhan kapur per hari (kg)
Kecil	1,7
Menengah	2,7
Besar	5,8

### **Perhitungan Unit Anaerobik Biodigester**

Kriteria disain yang umum digunakan untuk anaerobic digester low-rate dan high-rate menurut reynold (1996) adalah sebagai berikut:

Digestion Time, days	=	30-60	10-20
Organic Solids Loading, kg vss/m <sup>3</sup> .day	=	0,64-1,60	2,40-6,40
depth (m)	=	3,66-13,7	
Diameter (m)	=	4,57-38,1	

Direncanakan:

Digester dengan tipe fixed dome berbentuk lingkaran. Direncanakan terdapat 2 unit, karena ukuran digester terlalu besar bila digunakan 1 unit.

$$\text{HRT} = 30 \text{ hari}$$

$$\text{Kedalaman air (d)} = 4 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$V. \text{ efektif} = Q \times \text{HRT}$$

$$= 57,6 \text{ m}^3$$

$$= 58 \text{ m}^3$$

$$L. \text{ alas} = V \text{ efektif} / \text{kedalaman air}$$

$$= 14,50 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{L.alas}{\pi}} * 2$$

$$= 4,30 \text{ m}$$

$$r = 2,15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total digester} = 4,25 \text{ m}$$

### **Perhitungan Mass Balance**

$$\text{BOD in} = 3374 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD in} = 5532 \text{ mg/L}$$

$$\text{N in} = 935,96 \text{ mg/L}$$

$$\text{P in} = 231,87 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS in} = 940 \text{ mg/L}$$

Berdasarkan Polprasert (2007) dalam buku Organic Waste Recycling, efisiensi removal dari Anaerobik Biodigester adalah sebagai berikut:

$$\text{BODrem} = 50\%$$

$$\text{CODrem} = 50\%$$

$$\text{Nrem} = 30\%$$

$$\text{Prem} = 55\%$$

$$\text{TSSrem} = 50\%$$

Sehingga kualitas effluent digester adalah sebagai berikut:

BOD eff	=	1687	mg/L
COD eff	=	2766	mg/L
N eff	=	655,17	mg/L
P eff	=	104,34	mg/L
TSS eff	=	470	mg/L

$$\text{M. BOD in} = \frac{Q \times C}{1000} = 12956,16 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. COD in} = \frac{Q \times C}{1000} = 21242,88 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. N in} = \frac{Q \times C}{1000} = 3594,08 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. P in} = \frac{Q \times C}{1000} = 890,38 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. TSS in} = \frac{Q \times C}{1000} = 3609,6 \text{ gr/hari}$$

$$\begin{aligned}\text{M. BOD removed} &= \text{M. BOD in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 6478,08 \text{ gr/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{M. COD removed} &= \text{M. COD in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 10621,44 \text{ gr/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{M. N removed} &= \text{M. N in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 1078,23 \text{ gr/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{M. P removed} &= \text{M. P in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 489,71 \text{ gr/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. TSS removed} &= \text{M. TSS in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 1804,8 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. BOD effluen} &= \text{M. BOD in} - \text{M. BOD removed} \\ &= 6478,08 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. COD effluen} &= \text{M. COD in} - \text{M. COD removed} \\ &= 10621,44 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. N effluen} &= \text{M. N in} - \text{M. N removed} \\ &= 2515,86 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. P effluen} &= \text{M. P in} - \text{M. P removed} \\ &= 400,67 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. TSS effluen} &= \text{M. TSS in} - \text{M. TSS removed} \\ &= 1804,8 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

### **Produksi Lumpur**

$$\text{M. TSS removed} = 1804,8 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. BOD removed} = 6478,08 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. COD removed} = 10621,44 \text{ gr/hari}$$

Pengurasan tangki digester direncanakan dilakukan tiap 2 tahun sekali dimana dalam satu tahun diasumsikan terdapat 350 hari kerja, sehingga produksi lumpur selama 2 tahun adalah sebagai berikut

$$\text{M lumpur} = \text{lumpur TSS} \times \text{durasi pengurasan}$$

$$= 1227,264 \text{ kg/2 th}$$

$$\text{M kapur} = 2,7 \text{ kg/hari}$$

$$= 1848,1 \text{ kg/2 th}$$

$$\text{Total produksi lumpur} = 3075,4 \text{ kg/2th}$$

Mengacu pada Gambar 4.6 mengenai faktor reduksi sludge selama masa penyimpanan, maka dapat ditentukan nilai lumpur stabilnya selama 2 tahun sebagai berikut:

$$\text{Lumpur stabil} = 62\% \times \text{produksi lumpur}$$

$$= 1906,7 \text{ kg/2 th}$$

#### Densitas Solid (TSS+kapur)

$$\rho_{ss} = 2,65 \text{ kg/L}$$

$$\rho_{\text{kapur}} = 3,34 \text{ kg/L}$$

$$\% \text{ berat SS} = (\text{ss awal/berat total}) \times 100\%$$

$$= 40\%$$

$$\% \text{ berat kapur} = (\text{kapur/berat total}) \times 100\%$$

$$= 60\%$$

$$\text{Densitas solid} = \frac{(\rho_{ss} \times \%ss) + (\rho_{\text{kapur}} \times \% \text{kapur})}{100\%}$$

$$= 3,06 \text{ kg/L}$$

#### Lumpur (solid+air)

Dengan mengasumsikan %air adalah 95%, maka:

$$\text{Massa lumpur} = \text{lumpur stabil} : 5\%$$

$$= 38134,7 \text{ kg/2 th}$$

$$\text{Densitas lumpur} = \frac{(\rho_{\text{solid}} * \% \text{solid}) + (\rho_{\text{air}} * \% \text{air})}{100\%}$$

$$= 1,103 \text{ kg/L}$$

$$\text{Volume lumpur} = M \text{ lumpur} / f \text{ lumpur}$$

$$= 34,57 \text{ m}^3$$

Sehingga dapat ditentukan ruang lumpur dari digester sebagai berikut:

$$\text{Jumlah digester} = 2 \text{ buah}$$

$$V \text{ lumpur tiap digester} = 17,28 \text{ m}^3$$

$$D \text{ digester} = 4,3 \text{ m}$$

$$L \text{ alas} = 14,5 \text{ m}^2$$

$$H = 1,19 \text{ m}$$

Pada pengurasannya, lumpur pada digester dikuras tiap 2 tahun sekali. Lumpur diambil dengan cara disedot melalui manhole untuk selanjutnya dibawa ke IPLT.

### **Produksi Methan**

$$\text{Yield coefficient (y)} = 0,04 \text{ (0,02-0,06)}$$

$$\text{Endogenous Coefficient (b)} = 0,02 \text{ (0,01-0,04)}$$

$$P_x = \frac{YQ(Se - S)\left(\frac{1kg}{10^3g}\right)}{1 + b(SRT)}$$

$$= 1456,65$$

$$V_{CH_4} = (0,40)[(Se - S)(Q)\left(\frac{1kg}{10^3g}\right) - 1,42P_x]$$

$$= 15487,15 \text{ m}^3/\text{hari}$$

### **Perhitungan bak kontrol**

Grey water dari penggunaan air sehari hari masuk ke IPAL melalui bak kontrol. Pada bak ini, terjadi pencampuran dari effluent Digester dengan grey water.

Diketahui :

$$Q \text{ grey water} = 496,75 \text{ L/hari}$$

$$\text{BOD grey water} = 162 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD grey water} = 268 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS grey water} = 210 \text{ mg/L}$$

Kualitas campuran dihitung dengan persamaan

$$Q_1.X_1 + Q_2.X_2 = (Q_1 + Q_2). \bar{X}$$

$$\frac{Q_1.X_1 + Q_2.X_2}{Q_1 + Q_2} = \bar{X}$$

Sehingga didapatkan nilai kualitas air limbah campuran Tambang Boyo adalah sebagai berikut:

$$Q = 4336,75 \text{ L/hari}$$

$$\text{BOD} = 1493,76 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD} = 2449,17 \text{ mg/L}$$

$$N = 655,17 \text{ mg/L}$$

$$P = 104,34 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS} = 416,16 \text{ mg/L}$$

Direncanakan:

Bak berbentuk persegi



$$T_d = 5 \text{ menit} = 0,0035 \text{ hari}$$

$$\text{Kedalaman air} = 0,2 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$V \text{ efektif} = Q \times T_d$$

$$= 8,39 \text{ L}$$

$$= 0,0084 \text{ m}^3$$

$$L. \text{ alas} = V \text{ efektif} / \text{kedalaman air}$$

$$= 0,0419 \text{ m}$$

$$P = \sqrt{L. \text{ alas}}$$

$$= 0,20 \text{ m}$$

$$L = P$$

$$= 0,20 \text{ m}$$

#### 4.4.3 Desain Anaerobik Filter

Anaerobik filter menjadi salah satu alternatif karena kemudahan dalam pengoperasian dan penggunaan lahan yang umumnya kecil karena bisa diletakkan dalam tanah. Unit Anaerobik Filter mencakup 2 unit di dalamnya, yaitu unit settler dan unit anaerobik filter itu sendiri. Unit settler digunakan untuk mengendapkan lumpur dari digester dan TSS dari grey water.

Menurut Sasse (1998), Anaerobic Filter (AF) memiliki kriteria desain sebagai berikut:

Beban Organik	= 4,5 Kg COD/m <sup>3</sup> .Hari
HRT di bak pengendap / tangki septik	= 2 jam
HRT di anaerobik Filter	= 1-2 hari
BOD Removal	= 70-90 %

Rasio SS/BOD	=	0,35-0,45
Luas Spesifik Media	=	80-180 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Velocity Upflow	=	< 2 m/jam

### **Perhitungan Unit settler**

Diketahui:

Q	=	4336,75	L/hari
BOD	=	1493,76	mg/L
COD	=	2449,17	mg/L
N	=	655,17	mg/L
P	=	104,34	mg/L
TSS	=	416,16	mg/L

Dengan jam kerja 5,5 jam, maka Q peak adalah:

$$Q \text{ peak} = 0,79 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Direncanakan:

Settleable SS/COD ratio= 0,42 (limbah domestik)

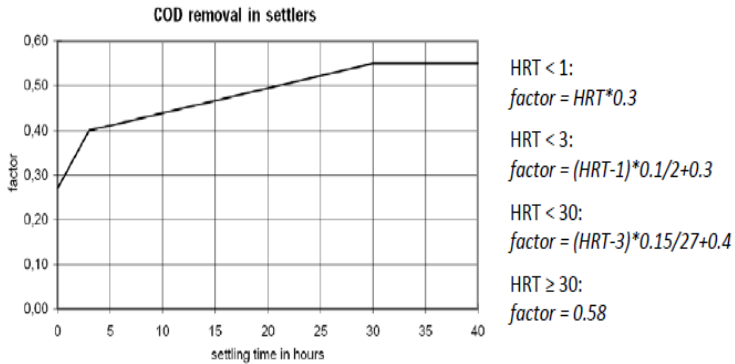
HRT = 2 jam

Desludging = 24 bulan

Lebar dalam = 3,5 m

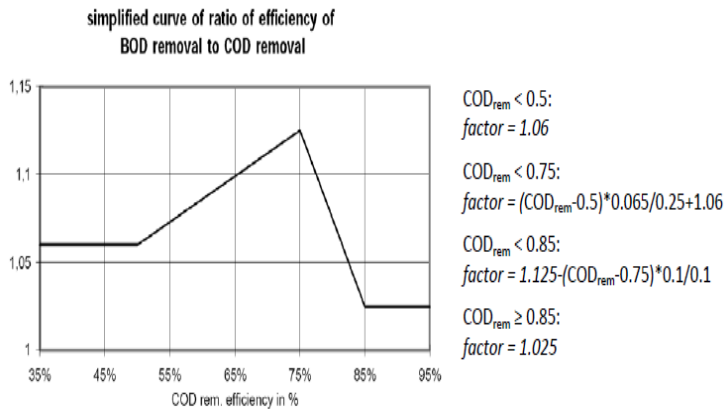
Kedalaman air (d) = 1,8 m

Dalam perhitungan settler digunakan beberapa grafik guna mempermudah perhitungan. Grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 4.4 Hingga 4.7 sebagai berikut:



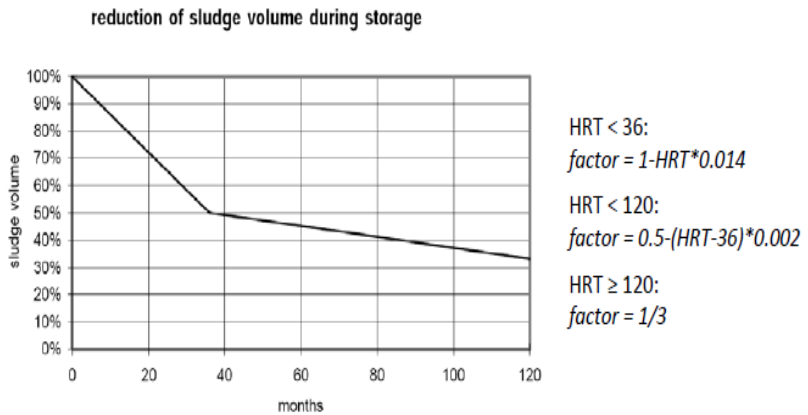
(sumber: Sasse et al. 2009)

**Gambar 4.4 Faktor COD rem dengan HRT**



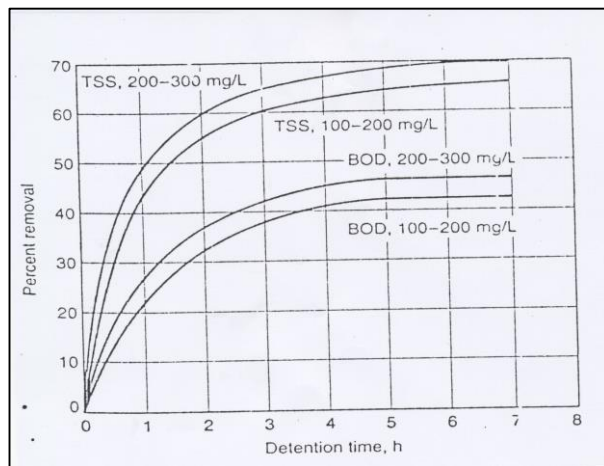
(sumber: Sasse et al. 2009)

**Gambar 4.5 efisiensi BODrem dengan CODrem**



(sumber: Sasse et al. 2009)

Gambar 4.6 Faktor reduksi sludge



(sumber: Sasse et al. 2009)

Gambar 4.7 Removal TSS

Gambar 4.4 hingga 4.6 digunakan untuk menentukan faktor kalkulasi, sedangkan Gambar 4.7 digunakan untuk menentukan nilai removal TSS.

$$f \text{ COD removal to HRT} = 0,35$$

$$f \text{ efficiency BOD removal to COD removal} = 1,06$$

$$f \text{ reduction of sludge} = 0,97$$

Perhitungan:

$$\text{COD/BOD ratio} = 1,64$$

$$\begin{aligned} \text{COD rem rate} &= (\text{SS/COD ratio}) / 0,6 * f \text{ COD rem} \\ &= 0,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD effluent} &= (1 - \text{COD rem rate}) * \text{COD in} \\ &= 1849,12 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD rem rate} &= f \text{ efficiency BOD rem to COD rem} * \\ &\quad \text{COD rem rate} \\ &= 0,26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD effluent} &= (1 - \text{BOD rem rate}) * \text{BOD in} \\ &= 1105,83 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Penentuan efisiensi penurunan TSS didasarkan pada Gambar 4.7 , sehingga efisiensi removal TSS adalah sebagai berikut:

$$\text{TSS rem rate} = 0,6$$

$$\text{TSS effluent} = 166,47 \text{ mg/L}$$

Sludge Volume:

$$\begin{aligned}\text{Sludge volume per BOD rem} &= 0,005 * f \text{ reduction sludge} \\ &= 0,0049\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BOD removed} &= \text{BOD in} - \text{BOD effluent} \\ &= 387,93 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Vol. sludge from BOD reduct} &= \frac{\text{Vol Sludge per BOD rem} * \text{BOD rem}}{1000} \\ &= 0,0019 \text{ m}^3/\text{m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume Sludge} &= \text{Vol. sludge from BOD reduct} * \\ &\quad \text{Desludging} * 30 * Q \\ &= 5,89 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume air} &= \text{HRT} * Q_{\text{peak}} \\ &= 1,58 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Volume air + sludge} = 7,46 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}\text{As} &= (\text{Volume air + sludge}) / d \\ &= 4,15 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Freeboard volume} &= \text{As} * 0,35 \\ &= 1,45 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Total settler volume} = 8,92 \text{ m}^3$$

Ukuran Chamber:

$$\begin{aligned}\text{P chamber 1 req} &= (0,67 * \text{Total settler volume}) \\ &\quad / (\text{lebar dalam} * d) \\ &= 0,95 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ chamber 1 dipilih} &= 1 \text{ m} \\
 P \text{ chamber 2 req} &= P \text{ chamber 1 req}/2 \\
 &= 0,47 \text{ m} \\
 P \text{ chamber 2 dipilih} &= 0,5 \text{ m} \\
 As &= \text{lebar dalam} * (P \text{ chamber 1} \\
 &\quad \text{Dipilih} + P \text{ chamber 2 dipilih}) \\
 &= 5,25 \text{ m}^2 \\
 \text{Total volume} &= As * d \\
 &= 9,45 \text{ m}^3 \\
 \text{Biogas generation} &= (\text{COD}_{in} - \text{COD}_{eff}) * Q * \frac{0,35}{1000} * 0,7 * 0,5 \\
 &= 0,65 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Kualitas Effluent Settler:

$$\begin{aligned}
 Q &= 4336,75 \text{ L/hari} \\
 \text{BOD} &= 1105,83 \text{ mg/L} \\
 \text{COD} &= 1849,12 \text{ mg/L} \\
 N &= 655,17 \text{ mg/L} \\
 P &= 104,34 \text{ mg/L} \\
 \text{TSS} &= 166,47 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

### **Perhitungan unit Anaerobik Filter**

Direncanakan:

$$Q = 4336,75 \text{ L/hari}$$

	= 4,336 m <sup>3</sup> /hari
Jam kerja	= 5,5 jam
Q peak	= 0,7885 m <sup>3</sup> /jam
HRT	= 24 jam
Kedalaman tangki (d)	= 2,2 m
Panjang filter	= 2,2 m
Lebar filter	= Lebar settler
	= 3,5 m
As	= panjang * lebar filter
	= 7,7 m
Jarak filter ke muka air	= 0,4 m
Jarak filter ke dasar	= 0,6 m
Tinggi penyangga	= 0,05 m
Tinggi media	= d- Jarak filter ke dasar- Jarak filter ke muka air- Tinggi penyangga
	= 1,15 m
Jumlah filter	= 3

Menggunakan media sarang tawon

Spesifik permukaan	= 150 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Pori	= 98%
Net volume filter tank	= As *Jumlah tangki *



$$\begin{aligned}
 & \text{(d-tinggi Media(1-pori))} \\
 & = 67 \text{ m}^3 \\
 \text{Organik loading} & = Q \cdot \text{CODin} / \text{net volume} / 1000 \\
 & = 0,06 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \\
 v \text{ up} & = Q_{\text{peak}} / (A_s \cdot \text{pori}) \\
 & = 0,052 \text{ m/jam} \\
 \text{HLR} & = Q / A_s \\
 & = 0,102 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam} \\
 V \text{ total filter (void)} & = \text{HLR} \cdot Q \cdot A_s \\
 & = 18,924 \text{ m}^3 \\
 V \text{ 1 filter (void)} & = \text{tinggi media} \cdot A_s \\
 & = 8,86 \text{ m}^3 \\
 \text{Cek kebutuhan filter} & = V \text{ total filter} / V \text{ 1 filter} \\
 & = 2,137 \\
 & = 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan Anaerobik filter, digunakan bantuan dari grafik pada Gambar 2.4-2.9 mengenai faktor kalkulasi dari anaerobik filter. Hasil dari penggunaan grafik adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f \text{ temp} & = 1,1 \quad (\text{Gambar 2.5}) \\
 f \text{ load} & = 1 \quad (\text{Gambar 2.4}) \\
 f \text{ strenght} & = 1,03 \quad (\text{Gambar 2.6}) \\
 f \text{ surface} & = 1,03 \quad (\text{Gambar 2.7})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f \text{ HRT} &= 0,67 \quad (\text{Gambar 2.9}) \\
 f \text{ BOD/COD rem} &= 1,025 \quad (\text{Gambar 2.8}) \\
 f \text{ chamber} &= 1 + (\text{jumlah tangki} \times 0,04) \\
 &= 1,12 \\
 \text{SS/COD ratio} &= 0,42
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COD rem} &= f \text{ temp} * f \text{ load} * f \text{ strength} * f \text{ surface} \\
 &\quad * f \text{ HRT} * f \text{ Chamber} \\
 &= 0,87
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COD effluent} &= (1 - \text{COD rem}) * \text{COD in} \\
 &= 234,27 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_5 \text{ rem} &= \text{COD rem} * f \text{ BOD/COD rem} \\
 &= 0,90
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_5 \text{ effluent} &= (1 - \text{BODrem}) * \text{BODin} \\
 &= 115,96 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan grafik TSS removal pada Gambar 4. Maka:

$$\text{TSS rem} = 70\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{TSS effluent} &= (1 - \text{TSSrem}) * \text{TSS in} \\
 &= 49,94 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biogas generation} &= (\text{CODin} - \text{CODeff}) * Q * \frac{0,35}{1000} * 0,7 * 0,5 \\
 &= 0,84 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Kualitas Effluent dari anaerobik filter ini adalah sebagai berikut:

Q	=	4336,75	L/hari
BOD	=	145,84	mg/L
COD	=	307,65	mg/L
N	=	655,17	mg/L
P	=	104,34	mg/L
TSS	=	49,94	mg/L

#### 4.4.4 Desain Unit Wetland

Unit wetland merupakan salah satu unit yang cukup mudah dalam pengoperasiannya. Selain itu unit ini memiliki efisiensi removal yang tinggi. Unit wetland direncanakan menggunakan tipe subsurface flow. Pada unit ini perlu dilakukan pengolahan awal untuk menurunkan organik loading dan mencegah terjadinya clogging. Sehingga sebelum masuk pada unit wetland, limbah melalui unit settler. Perhitungan pada unit settler dapat dilihat pada sub bab 4.4.3 mengenai Desain Unit Anaerobik Filter.

Menurut Metcalf dan Eddy (1991), kriteria desain dari wetland adalah sebagai berikut:

Tabel 4.10 Kriteria Desain Wetland

parameter desain	Unit	tipe sistem	
		Free Water Surface	Sub-surface flow system
Water Depth	ft	0.3 - 2.0	1.0 - 2.5
BOD <sub>5</sub> Loading Rate	lb/acre	< 60	< 60
Hidraulic Loading Rate	Mgal/acre.d	0.015 - 0.050	0.015 - 0.050

Specific Area	Acre/(Mgal/d)	67 - 20	67 - 20
---------------	---------------	---------	---------

Sumber : Metcalf dan Eddy , 1991

### **Perhitungan unit wetland**

diketahui

Kualitas effluent dari settler:

Q	=	4336,75	L/hari
BOD	=	1105,83	mg/L
COD	=	1849,12	mg/L
N	=	655,17	mg/L
P	=	104,34	mg/L
TSS	=	166,47	mg/L

BOD effluent yang diharapkan = 150 mg/L

Suhu (T) = 30 °C

$K_{20}$  = 1,104

$\Theta$  = 1,06

Dengan menggunakan rumus

$$\frac{Ce}{Co} = e^{[-(K_{20})(\Theta)^{(T-20)})td]}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Td &= \frac{\ln(\frac{BOD_{eff}}{BOD_{in}})}{-(k_{20})(\Theta)^{(T-20)}} \\ &= 1,001 \text{ hari} \\ &= 1 \text{ hari} \end{aligned}$$

Direncanakan

Tanaman digunakan	= Cattail ( <i>Typha Angustifolia</i> )
Media	= Gravel sand
Jarak Tanaman	= 15 cm
Kedalaman media (d)	= 0,6 m
Konduktivitas Hidraulik	= 420 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari
Slope (s)	= 0,01 m/m
Porositas (α)	= 0,42
Ketebalan dinding	= 0,2 m
Freeboard	= 0,35 m

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 A \text{ cross} &= \frac{Q}{Ks*s} \\
 &= 1,033 \text{ m}^2 \\
 \text{Lebar}(W) &= A_c/d \\
 &= 1,72 \text{ m} \\
 \text{Panjang (L)} &= \frac{Td*Q}{W*d*\alpha} \\
 &= 10 \text{ m} \\
 As &= W*L \\
 &= 17,21 \text{ m}^2 \\
 \text{HLR} &= Q / As \\
 &= 0,252 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}
 \end{aligned}$$

Menurut Soeprijanto & Nieke (2008), HLR yang digunakan dalam sistem SFS adalah <0,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari, sehingga telah memenuhi

$$\begin{aligned}
 \text{Organic loading} &= \frac{Q \cdot BOD_{in}}{A_s} \\
 &= 278,67 \text{ mg/m}^2\text{hari} \\
 &= 2,79 \text{ kg/Ha.hari}
 \end{aligned}$$

Menurut manual EPA tahun 1993, beban organik paling besar yang bisa ditampung adalah 143 kg/ha.hari. Sehingga perencanaan telah mencukupi.

### **Kebutuhan Tanaman**

Kerapatan tanaman Cattail (*Typha Angustifolia*) dalam penelitian Hidayah,dkk.,2010., diperoleh efisiensi penurunan BOD, COD, dan TSS > 50% dengan waktu tinggal 1 hari dan jarak antar tanaman 0,15 m. Luas reaktor yang digunakan adalah 1m<sup>2</sup> yang terdiri dari 3 tanaman, sehingga jumlah tanaman yang dibutuhkan dalam unit ini adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tanaman} &= \frac{3 \text{ rumpun} \times \text{Luas Unit SSFCW}}{1 \text{ m}^2} \\
 &= 51,62 \\
 &= 52 \text{ rumpun}
 \end{aligned}$$

### **Mass balance**

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Hidayah dan Wahyu (2010) yang ditunjukkan pada Tabel 2.6 hingga 2.8 serta studi yang dilaksanakan oleh Tazkiaturrizki (2016), didapatkan nilai efisiensi removal sebagai berikut:

BODrem	=	86%
CODrem	=	78%
Nrem	=	60%
Prem	=	60%
TSSrem	=	50%

$$\text{M. BOD in} = \frac{Q \times C}{1000} = 4795,72 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. COD in} = \frac{Q \times C}{1000} = 8019,19 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. N in} = \frac{Q \times C}{1000} = 2841,32 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. P in} = \frac{Q \times C}{1000} = 452,50 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. TSS in} = \frac{Q \times C}{1000} = 721,92 \text{ gr/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{M. BOD removed} &= \text{M. BOD in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 4145,21 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. COD removed} &= \text{M. COD in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 6222,889 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. N removed} &= \text{M. N in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 1704,791 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. P removed} &= \text{M. P in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 271,50 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. TSS removed} &= \text{M. TSS in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 360,96 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. BOD effluen} &= \text{M. BOD in} - \text{M. BOD removed} \\ &= 650,51 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. COD effluen} &= \text{M. COD in} - \text{M. COD removed} \\ &= 1796,3 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{M. N effluen} &= \text{M. N in} - \text{M. N removed} \\
 &= 1136,53 \text{ gr/hari} \\
 \text{M. P effluen} &= \text{M. P in} - \text{M. P removed} \\
 &= 181 \text{ gr/hari} \\
 \text{M. TSS effluen} &= \text{M. TSS in} - \text{M. TSS removed} \\
 &= 360,96 \text{ gr/hari}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.5 Desain Aerobik Filter

Aerobik filter digunakan sebagai alternatif ketiga karena efisiensi removal organiknya tinggi dan kebutuhan lahan yang tidak terlalu besar karena bisa ditempatkan di dalam tanah. Konsep Aerobik Biofilter pada umumnya serupa dengan konsep Tricking Filter atau unit *attached grow* dimana akan tumbuh biofilm. Sistem aerobik pada unit dibantu dengan *Perforated Pipe Diffuser* guna memberikan kontak limbah dengan udara.

Pada unit ini diperlukan adanya tambahan unit pengendap akhir, karena biofilm yang terkelupas dari bed media akan terbawa oleh aliran. Sehingga perlu diendapkan terlebih dahulu. Perhitungan pada unit settler atau pengendap awal dapat dilihat pada sub bab 4.4.3 mengenai Desain Unit Anaerobik Filter.

Berikut ini adalah perhitungan desain dari aerobik filter.

#### **Perhitungan Unit Aerobik Filter**

Diketahui

$$\begin{aligned}
 Q &= 4336,75 \text{ L/hari} \\
 \text{BOD} &= 1493,76 \text{ mg/L} \\
 \text{COD} &= 2449,17 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$



N	=	655,17	mg/L
P	=	104,34	mg/L
TSS	=	416,16	mg/L

Perhitungan unit pengolahan ini didasarkan pada kriteria perencanaan sebagai berikut:

Organic Loading rate	=	< 6 kg COD/m <sup>3</sup> .hari
OLR BOD	=	0,3-2,0 kg BOD/m <sup>3</sup> .hari
HRT di pengendap	=	2-4 jam
HRT di aerobik biofilter	=	5-40 jam
sumber : Casey, 2006		

Berdasarkan studi yang dilaksanakan oleh pohan (2008) dalam Laily (2015), efisiensi removal dari unit aerobik biofilter cukup tinggi, yaitu:

BOD rem	=	60%
COD rem	=	51%
TSS rem	=	72,5%

Sehingga mass balance:

BOD <sub>eff</sub>	=	522,82	mg/L
COD <sub>eff</sub>	=	955,18	mg/L
N <sub>eff</sub>	=	655,17	mg/L
P <sub>eff</sub>	=	104,34	mg/L
TSS <sub>eff</sub>	=	162,30	mg/L

$$M. \text{ BOD in} = \frac{Q \times C}{1000} = 6478,08 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. COD in} = \frac{Q \times C}{1000} = 10621,44 \text{ gr/hari}$$

$$\text{M. TSS in} = \frac{Q \times C}{1000} = 1804,8 \text{ gr/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{M. BOD removed} &= \text{M. BOD in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 3886,85 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. COD removed} &= \text{M. COD in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 5385,07 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. TSS removed} &= \text{M. TSS in} \times \text{effisiensi removal} \\ &= 1308,5 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. BOD effluen} &= \text{M. BOD in} - \text{M. BOD removed} \\ &= 2591,23 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. COD effluen} &= \text{M. COD in} - \text{M. COD removed} \\ &= 5236,37 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M. TSS effluen} &= \text{M. TSS in} - \text{M. TSS removed} \\ &= 496,32 \text{ gr/hari} \end{aligned}$$

Direncanakan Aerobik Biofilter

$$\text{HRT} = 5 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{V tangki} &= Q \times t_d \\ &= 21,68 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Aerobik biofilter direncanakan memiliki 2 ruang, yaitu ruang aerasi dan ruang bed media

Direncanakan Ruang Aerasi

$$\text{Kedalaman (d)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (l)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard (fb)} = 0,35 \text{ m}$$

Direncanakan Ruang bed media

$$\text{Kedalaman (d)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (l)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard (fb)} = 0,35 \text{ m}$$

Sehingga lebar dari ruang aerasi dan bed media

$$\begin{aligned} \text{Lebar (w)} &= \frac{V}{(d * l \text{ aerasi}) + (d * l \text{ media})} \\ &= 3,29 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak filter ke muka air} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Jarak filter ke dasar} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi penyangga} = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi media} &= d - \text{Jarak filter ke dasar} - \\ &\quad \text{Jarak filter ke muka air} - \\ &\quad \text{Tinggi penyangga} \\ &= 1,15 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total media} &= \text{Tinggi media} * d * l \\ &= 7,56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek BOD loading} &= M.\text{BODin}/V \text{ media} \\ &= 0,857\end{aligned}$$

Kebutuhan oksigen

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} &= M \text{ BOD rem} \\ &= 3,886 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\text{Faktor keamanan} = 1,5$$

$$\text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} = 5,83 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Temperatur} = 30^\circ\text{C}$$

$$K_{20} = 1,104$$

$$\Theta = 1,06$$

$$\begin{aligned}K &= K_{20} * (\Theta)^{(T-20)} \\ &= 1,98\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah O}_2 \text{ di udara} = 23,2\%$$

$$\text{Koef oksigen transfer} = 8\%$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan udara teoritis} &= \frac{\text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{k * \% \text{O}_2} \\ &= 12,71 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Udara aktual} &= \text{kebutuhan udara} / \\ &\quad \text{Koef oksigen transfer} \\ &= 158,89 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 110,34 \text{ L/menit}\end{aligned}$$

Spesifikasi Blower

Tipe	= HIBLOW 150
Kapasitas	= 150 L/menit
Head	= 2000 mm-aqua
Kebutuhan blower	= kebutuhan udara/ kapasitas
	= 0,74
	= 1 buah
Power	= 125 wat
Pipa outlet	= 0,5 inch

### **Perhitungan Pengendap Akhir**

Direncanakan

Td	= 3 jam (2-4 jam)
V	= $Q * td$
	= 13,01 m <sup>3</sup>
Lebar (w)	= sama dengan lebar filter
	= 3,29 m
Kedalaman(d)	= sama dengan kedalaman filter
	= 2,2 m
Panjang (l)	= $V/(w * d)$
	= 1,8 m
As	= $w * l$
	= 5,91 m <sup>2</sup>
Cek Surface loading	= $Q/ As$

$$= 0,73 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

#### 4.5 Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Unit IPAL

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai kelebihan dan kekurangan masing masing alternatif IPAL. Parameter pembandingan terdiri atas:

- a. Kebutuhan lahan
- b. Efisiensi Removal

Kapasitas lahan dari ketiga lokasi dengan bantuan AutoCad didapatkan nilai sebagai berikut:

Tabel 4.11 Pengalokasian lahan

kenjeran	tambang boyo	kedung tarukan
88 m <sup>2</sup>	123 m <sup>2</sup>	176 m <sup>2</sup>

Efisiensi removal sendiri disesuaikan dengan baku mutu yang berlaku. Pada perencanaan ini, baku mutu yang digunakan adalah KEPGUB JATIM No. : 72/2013, tanggal : 16 oktober 2013 : Untuk Industri Tahu / Tempe. Baku mutu dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Baku Mutu

Parameter	Baku mutu	Satuan
pH	6 hingga 9	oC
TSS	100	mg/L
COD	300	mg/L O <sub>2</sub>
BOD	150	mg/L O <sub>2</sub>

Sumber : Pergub Jatim no 72 th 2013

Selanjutnya rangkuman hasil desain dapat dilihat pada Tabel 4.12 hingga Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.13 Dimensi Bak Netralisasi

Bak Netralisasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)
Kenjeran	0,71	0,71	1
Tambang Boyo	1,63	1,63	1,5
Kedung Tarukan	2,18	2,18	2

Tabel 4.14 Dimensi Anaerobik Biodigester

Digester	Diameter (m)	Kedalaman (m)	Kedalaman ruang lumpur (m)	Jumlah Unit
Kenjeran	2,15	4	1,26	1
Tambang Boyo	4,3	4	1,2	2
Kedung Tarukan	4,99	6	1,76	2

Tabel 4.15 Dimensi Settler

Settler	Kedalaman (m)	Lebar (m)	Panjang ruang 1 (m)	Panjang ruang 2 (m)
Kenjeran	1,80	3,50	0,50	0,30
Tambang Boyo	1,80	3,50	1,00	0,50
Kedung Tarukan	1,80	3,50	1,50	1,00

Tabel 4.16 Dimensi Anaerobik Filter

Anaerobik Filter	Jumlah tangki	kedalaman (m)	Lebar (m)	Panjang tangki (m)
Kenjeran	1	2,2	3,50	2,2
Tambang Boyo	3	2,2	3,50	2,2
Kedung Tarukan	6	2,2	3,50	2,2

Tabel 4.17 Dimensi Subsurface Flow Wetland

Subsurface Flow Wetland	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Jumlah Tanaman (rumpun)
Kenjeran	10	0,351759137	0,6	11
Tambang Boyo	10	1,720933125	0,6	52
Kedung Tarukan	10	4,03121515	0,6	121

Tabel 4.18 Dimensi Aerobik Biofilter

Aerobik Biofilter	Ruang aerasi		
	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Panjang (m)
Kenjeran	0,98	1,5	1
Tambang Boyo	3,29	2,2	1
Kedung Tarukan	3,85	2,2	1
Aerobik Biofilter	Ruang Bed Media		
	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Panjang (m)
Kenjeran	0,98	1,5	2



Tambang Boyo	3,29	2,2	2
Kedung Tarukan	3,85	2,2	2
Aerobik Biofilter	Pengendap Akhir		
	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Panjang (m)
Kenjeran	0,98	1,5	1,8
Tambang Boyo	3,29	2,2	1,8
Kedung Tarukan	3,85	2,2	1,8

Tabel 4.19 Berikut ini akan menunjukkan kualitas effluent hasil pengolahan serta kebutuhan lahan dari ketiga alternatif yang direncanakan.

Tabel 4.19 Kualitas effluen Dan Kebutuhan lahan

Alternatif	Parameter	Kenjeran	Tambang Boyo	Kedung tarukan	Baku Mutu
I	BOD eff (mg/L)	109,32	115,96	7,67	150
	COD eff (mg/L)	282,71	234,27	58,25	300
	N eff (mg/L)	556,43	655,17	247,71	-
	P eff (mg/L)	52,25	104,34	62,88	-
	TSS eff (mg/L)	46,32	49,94	72,18	100
	Lahan (m2)	14,64	60,09	99,02	

Alternatif	Parameter	Kenjeran	Tambang Boyo	Kedung tarukan	Baku Mutu
II	BOD eff (mg/L)	150,00	150,00	150,00	150
	COD eff (mg/L)	274,09	414,20	419,96	300
	N eff (mg/L)	222,57	262,07	99,08	-
	P eff (mg/L)	20,90	41,74	25,15	-
	TSS eff (mg/L)	77,20	83,23	120,30	100
	Lahan (m2)	10,46	54,20	93,13	
III	BOD eff (mg/L)	292,50	442,33	448,48	150
	COD eff (mg/L)	603,23	911,62	924,28	300
	N eff (mg/L)	556,43	655,17	247,71	-
	P eff (mg/L)	52,25	104,34	62,88	-
	TSS eff (mg/L)	42,46	45,78	66,16	100
	Lahan (m2)	9,38	46,43	60,89	

Dari Tabel 4.19 kita bisa mengetahui bahwa ketiga alternatif memiliki efisiensi pengolahan yang tinggi. Selain itu, ketiga alternatif mampu ditempatkan di area pabrik sesuai dengan alokasi lahan yang ada. Namun apabila kita mempertimbangkan dengan baku mutu dari KEPGUB JATIM No. : 72/2013, tanggal :

16 oktober 2013 : Untuk Industri Tahu / Tempe yang ditunjukkan dalam Tabel 4.12, terdapat beberapa parameter yang melebihi baku mutu

Alternatif pertama mampu memenuhi baku mutu untuk ketiga pabrik. Alternatif kedua tidak mencapai baku mutu pada parameter COD untuk pabrik Tambang Boyo, dan parameter TSS untuk pabrik Kedung Tarukan. Sedangkan pada alternatif ketiga, seluruh parameter belum memenuhi baku mutu untuk ketiga pabrik.

Pada alternatif kedua masih dimungkinkan memenuhi baku mutu dengan cara penambahan unit pengolahan. Unit yang memungkinkan adalah filter dan kolam aerasi dengan penempatan setelah unit wetland. Sedangkan pada alternatif ketiga masih dimungkinkan memenuhi baku mutu dengan penambahan unit pengolahan lainnya. Yaitu filter anaerobik ataupun UASB sebelum memasuki unit Aerobik Biofilter atau penambahan unit Aerobik Biofilter lainnya yang ditempatkan secara seri.

Pada perencanaan ini, digunakan alternatif pertama untuk ketiga pabrik karena kemampuannya dalam mereduksi limbah dan penggunaan lahan yang mencukupi

#### 4.6 Profil Hidrolis

Profil hidrolis dihitung dengan memperkirakan seberapa besar penurunan muka air (*headloss*) akibat adanya gesekan, jatuhnya, belokan, kecepatan air di bangunan, dan akibat adanya gesekan antara air dengan media. *headloss* karena kecepatan aliran di unit IPAL ditentukan berdasarkan persamaan Darcy-Weisbach untuk bangunan *open channel*.

$$Hf = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

*headloss* dalam media *filter* ditentukan berdasarkan persamaan Carman Kozeny

$$\frac{Hf}{L} = \frac{150\mu (1-\epsilon)^2}{\phi^2 D^2} \frac{v_s}{\epsilon^3}$$

*Headloss* jatuhnya dan belokan didasarkan pada persamaan *Manning*. Aliran air yang masuk dalam pipa inlet memiliki *headloss* akibat adanya jatuhnya dan belokan aliran air dalam bangunan. *Headloss* jatuhnya adalah kehilangan tekanan akibat turbulensi aliran yang dipengaruhi oleh adanya jatuhnya. Sedangkan *headloss* belokan adalah kehilangan tekanan akibat turbulensi aliran yang dipengaruhi oleh adanya belokan

$$H_f = \left( \frac{v \cdot n}{1.48 R^{2/3}} \right)^2 \cdot L$$

Ketinggian muka tanah dari ketiga industri kurang lebih sama, yaitu +4m , sedangkan badan air berada pada ketinggian kurang lebih +3m. Berikut adalah perhitungan profil hidrolis pada industri kategori menengah

#### 4.6.1 Bak Netralisasi

##### Headloss Kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Panjang (b)} &= 1,63 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 0,98 \text{ m/s} \\ \text{Jari-jari Hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= 0,528 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 0,03 \text{ m} \\ \text{Panjang aliran (L)} &= 1,63 \text{ m} \\ \text{Headloss (hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,000119 \text{ m} \end{aligned}$$

#### 4.6.2 Anaerobik Digester

##### Headloss Kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= 4,63 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 4 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\ \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 0,98 \text{ m/s} \\ \text{Jari-jari Hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= 1,398 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
 &= 0,03 \text{ m} \\
 \text{Panjang aliran (L)} &= 4,3 \text{ m} \\
 \text{Headloss (hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,000118 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.3 Bak Kontrol

##### Headloss Kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (b)} &= 0,27 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\
 \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 0,98 \text{ m/s} \\
 \text{Jari-jari Hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= 0,08 \text{ m} \\
 \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
 &= 0,03 \text{ m} \\
 \text{Panjang aliran (L)} &= 0,27 \text{ m} \\
 \text{Headloss (hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,000138 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.4 Settler

##### **Kompartemen 1**

##### Headloss Kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (b)} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 1,8 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\
 \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 0,98 \text{ m/s} \\
 \text{Jari-jari Hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= 0,391 \text{ m} \\
 \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
 &= 0,03 \text{ m} \\
 \text{Panjang aliran (L)} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Headloss (hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,0000988 \text{ m}
 \end{aligned}$$

##### **Kompartemen 2**

#### Headloss Kecepatan

$$\text{Panjang (b)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 0,1 \text{ m/s}$$

$$\text{Percepatan gravitasi (g)} = 0,98 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}\text{Jari-jari Hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= 0,2195 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 0,03 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Panjang aliran (L)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss (hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,0000892 \text{ m}\end{aligned}$$

#### Headloss Belokan

$$\text{Panjang Belokan (L)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Jari jari Hidrolis (R)} = 0,2195 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran} = 0,1 \text{ m/s}$$

$$\text{Koefisiensi kekasaran beton} = 0,014$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss (hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= 0,0000398\end{aligned}$$

#### 4.6.5 Anaerobik Filter

##### Headloss jatuhan

$$\text{Lebar (b)} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran} = 0,1 \text{ m/s}$$

$$\text{Koefisiensi kekasaran beton} = 0,014$$

$$\text{Percepatan gravitasi} = 0,98 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}\text{Jari jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= 0,975\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss (hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= 0,00000446 \text{ m}\end{aligned}$$

##### Headloss kecepatan

$$\text{Panjang (b)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 0,98 \text{ m/s} \\
\text{Jari-jari Hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= 0,388 \text{ m} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 0,03 \text{ m} \\
\text{Panjang aliran (L)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Headloss (hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,000219 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### Headloss media

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi bed media (L)} &= 1,15 \text{ m} \\
\text{Faktor Bentuk (\phi)} &= 0,78 \\
\text{Diameter rongga} &= 0,02 \text{ m} \\
\text{Viskositas Kinematis (\mu)} &= 8 \times 10^{-7} \text{ kg/m.s} \\
\text{Porositas Media (\epsilon)} &= 0,98 \\
\text{Kecepatan Aliran (V)} &= 0,1 \text{ m/s} \\
\text{Headloss (hf)} &= \frac{Hf}{L} = \frac{150\mu}{\phi^2 D^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} v_s \\
&= 0,0000253 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
\text{Panjang (b)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 0,4 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/s} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 0,98 \text{ m/s} \\
\text{Jari-jari Hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= 0,293 \text{ m} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 0,03 \text{ m} \\
\text{Panjang aliran (L)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Headloss (hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,000291 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### Headloss belokan

$$\begin{aligned}
\text{panjang belokan (L)} &= 0,8 \text{ m} \\
\text{jari jari hidrolis (R)} &= 0,293 \text{ m} \\
\text{kecepatan aliran} &= 0,1 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{koefisiensi kekasaran beton} &= 0,014 \\
\text{headloss (hf)} &= \left( \frac{v_n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
&= 0,0000081 \text{ m}
\end{aligned}$$

Berikut adalah hasil perhitungan headloss  
Tabel 4.20 Profil Hidrolis

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss (m)	Muka Air (m)
Bak Netralisasi			3,75
	Headloss kecepatan	0,000118882	3,749881
Digester			3,749881
	Headloss kecepatan	0,000117553	3,749764
Bak Kontrol			3,749764
	Headloss kecepatan	0,000137579	3,749626
Settler			3,749626
Kompartemen 1	Headloss kecepatan	0,000098838	3,749527
			3,749527
Kompartemen 2	Headloss Jatuhan	0,000003700	3,749523
	Headloss Kecepatan	0,000089201	3,749434
	Headloss Belokan	0,000039772	3,749394
Anaerobik Filter			3,749394
kompartemen 1	Headloss Jatuhan	0,000004462	3,749390



<b>Unit Bangunan</b>	<b>Jenis Headloss</b>	<b>Headloss (m)</b>	<b>Muka Air (m)</b>
	Headloss kecepatan	0,000219189	3,749171
	Headloss Media	0,000025305	3,749146
	Headloss kecepatan	0,000291622	3,748854
	Headloss Belokan	0,000008099	3,748846
kompartemen 2	Headloss Jatuhan	0,000004462	3,748841
	Headloss kecepatan	0,000219189	3,748622
	Headloss Media	0,000025305	3,748597
	Headloss kecepatan	0,000291622	3,748305
	Headloss Belokan	0,000008099	3,748297
Kompartemen 3	Headloss Jatuhan	0,000004462	3,748293
	Headloss kecepatan	0,000219189	3,748073
	Headloss Media	0,000025305	3,748048
	Headloss kecepatan	0,000291622	3,747757
	Headloss Belokan	0,000008099	3,747748
outlet			3,747748
	headloss pipa	0,000492658	3,747255
			3,747255

#### 4.7 Bill of Quantity dan Rencana Anggaran Biaya

Pada subbab ini akan dibahas mengenai biaya investasi yang dibutuhkan dalam membangun IPAL pabrik tahu yang telah direncanakan. Perhitungan rencana anggaran biaya didasarkan pada HSPK perubahan III 2016 kota surabaya. Selain menghitung RAB konstruksi dalam desain, dihitung pula RAB saat operasi dan perawatan.

Berikut ini adalah hasil perhitungan dari RAB konstruksi pada pabrik Tambang Boyo yang dibagi menjadi 2 Tabel, Tabel 4.22 mengenai BOQ & RAB konstruksi, dan Tabel 4.23 mengenai RAB konstruksi kategori industri.

**Tabel 4.22 BOQ & RAB Konstruksi Tambang Boyo**

No.	Uraian Kegiatan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
	<b>PEKERJAAN PERSIAPAN &amp; TANAH</b>				
1	Pembuatan Bouwplank / titik	54	Titik	103.760,20	5.603.050,80
2	Pengukuran & Pemasangan Bouwplank	54	Titik	105.506,00	5.697.324,00
3	Pembersihan lapangan ringan & perataan	42,22902654	m2	9.450,00	399.064,30
4	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	108,98	m3	86.450,00	9.421.683,36
5	Pengangkutan Tanah dr. Lubang Galian Dalamnya Lebih dari 1m	108,98	m3	17.685,00	1.927.385,43
6	Pengurugan Tanah Kembali Untuk Konstruksi	9,9	m3	14.222,00	140.797,80
	<b>STRUKTUR UTAMA</b>				
7	Pekerjaan Pasangan Batu Kali Belah 15/20 cm (1 Pc : 5 Ps)	42,22902654	m3	1.126.826,40	47.584.781,96
8	Pekerjaan Beton K-225	47,27639984	m3	1.176.043,69	55.599.111,65
9	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	7091,459976	kg	15.291,30	108.437.641,93
10	Pekerjaan Bekisting dinding	139,4789726	m2	373.700,00	52.123.292,08
11	Pekerjaan Bekisting Lantai	42,22902654	m2	383.646,50	16.201.018,23
	<b>PEKERJAAN FINISHING</b>				

No.	Uraian Kegiatan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
12	Pemasangan Media Sarang Tawon	3	set	2.098.120,00	6.294.360,00
13	Pemasangan Pipa	1	set	1.493.200,00	1.493.200,00
	<b>TOTAL</b>				310.922.711,52

Sehingga jumlah investasi untuk konstruksi ipal alternatif pertama pada ketiga pabrik adalah sebagai berikut:

Tabel 4.23 RAB Konstruksi

Industri	Investasi
Kenjeran	Rp 200.571.373
Tambang Boyo	Rp 312.668.316
Kedung Tarukan	Rp 507.239.001

Selain biaya konstruksi, dibutuhkan pula biaya operasional dan biaya perawatan (*operational and maintenance*) IPAL. Berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 4.24 Biaya Operasional

Industri	Jenis Kebutuhan	Jumlah Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan	Harga per Bulan
Kenjeran	CaO powder 100 mesh	50,824	kg/bulan	Rp 42.500	Rp2.160.010
	Operator	1	orang	Rp 1.000.000	Rp1.000.000
Tambang Boyo	CaO powder 100 mesh	81,535	kg/bulan	Rp 42.500	Rp3.465.222
	Operator	1	orang	Rp 1.000.000	Rp1.000.000
Kedung Tarukan	CaO powder 100 mesh	172,718	kg/bulan	Rp 42.500	Rp7.340.519
	Operator	1	orang	Rp 1.000.000	Rp1.000.000

Tabel 4.25 Biaya Perawatan

<b>Jenis Kebutuhan</b>	<b>Jumlah Kebutuhan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga per Bulan</b>
pengurasan lumpur/2 th	1	kali	Rp 500.000	Rp 500.000
pembersihan media/1 th	1	kali	Rp 100.000	Rp 100.000
Uji kualitas effluen	12	kali	Rp 350.000	Rp 4.200.000

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil dari perencanaan ini adalah:

1. Digunakan alternatif pertama, yaitu kombinasi Anaerobik Biodigester-Anaerobik Filter untuk ke tiga kategori industri tahu.
2. Pada industri tahu Kenjeran dengan kategori produksi dibawah 100 kg/hari, digunakan IPAL berupa 1 unit Biodigester dengan diameter 2,15m dan kedalaman 4m, dilanjutkan dengan 1 unit Settler-Anaerobik Filter dengan lebar 3,5m. Settler memiliki kedalaman 1,8m , panjang ruang pertama 0,5m dan ruang kedua 0,3m. Anaerobik filter terdiri dari 1 tangki filter yang memiliki kedalaman 2,2m dan panjang tiap tangki filter 2,2m
3. Pada industri tahu Tambang Boyo dengan kategori produksi antara 100-500 kg/hari, digunakan IPAL berupa 2 unit Biodigester dengan diameter 4,3m dan kedalaman 4m, dilanjutkan dengan 1 unit Settler-Anaerobik Filter dengan lebar 3,5m. Settler memiliki kedalaman 1,8m , panjang ruang pertama 1m dan ruang kedua 0,5m. Anaerobik filter terdiri dari 3 tangki filter yang memiliki kedalaman 2,2m dan panjang tiap tangki filter 2,2m
4. Pada industri tahu Kedung Tarukan dengan kategori produksi diatas 500 kg/hari, digunakan IPAL berupa 2 unit Biodigester dengan diameter 4,9m dan kedalaman 6m, dilanjutkan dengan 1 unit Settler-Anaerobik Filter dengan lebar 3,5m. Settler memiliki kedalaman 1,8m , panjang ruang pertama 1,5m dan ruang kedua 1m. Anaerobik filter

terdiri dari 6 tangki filter yang memiliki kedalaman 2,2m dan panjang tiap tangki filter 2,2m

5. Biaya investasi IPAL yang dibutuhkan pada perencanaan ini bervariasi sesuai dengan ukuran dan debitnya. Pada pabrik kenjeran dibutuhkan investasi sebesar Rp 200.571.373. Pada pabrik Tambang Boyo dibutuhkan investasi sebesar Rp 312.668.316. Sedangkan pada pabrik Kedung Tarukan membutuhkan biaya investasi sebesar Rp 507.239.001.

## 5.2 Saran

Pada perencanaan ini ada beberapa saran dari penulis agar perencanaan selanjutnya mendapatkan hasil yang lebih baik. Saran tersebut diantaranya:

1. Perlu dipertimbangkan kembali mengenai pengolahan lumpur dan scum lanjutan dari limbah tahu
2. Perencanaan lanjutan mengenai pengolahan gas hasil digesting limbah tahu
3. Perlu diadakan kerjasama dengan pemerintah terkait dalam pembangunannya, sehingga dapat meringankan beban dari industri tahu

## DAFTAR PUSTAKA

- EMDI dan BAPEDAL. 1994. **Limbah Cair Berbagai Industri Di Indonesia: Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu.** Project of the Ministry for the Environment. Republic of Indonesia and Dalhousie University. Canada
- Endah, K.W. 2012. **Perencanaan Biodigester Tinja Manusia dan Kotoran Ternak Skala Komunal Rumah Tangga di Kecamatan Ngancar, Kabupaten Kediri.** Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Halverson, N.V. 2004. **Review of constructed Subsurface Flow vs Surface Flow Wetlands.** U.S. Department of Energy, Springfield, USA.
- Herlambang. 2002. **Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu.** Jakarta: Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan dan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Samarinda
- Hidayah, E.N. dan Aditya, W., 2010. **Potensi dan Pengaruh Tanaman Pada Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Sistem *Constructed Wetland*.** Jurnal ilmiah teknik lingkungan FTSP-UPN. Surabaya
- Kaswinarni, F. 2007. **Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal dan Gagak Sipat Boyolali.** (Doctoral dissertation, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro).
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup. Nomor : Kep-51/MENLH/10/1995, tentang **Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan**, Jakarta.
- Lettinga, G. 1995. **Anaerobic Digestion and Wastewater Treatment Systems.** Antonie van Leeuwenhoek.:67,Hlm. 3-28.
- Mahatyanta, A. 2016. **Perencanaan Desain Alternatif PAL dengan Teknologi *Anarebic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter* untuk Rumah Susun Romokalisari Surabaya.** Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- Manual EPA. 1993. **Subsurface Flow Constructed Wetlands for Waste Water Treatment**. United States of Environmental Protection Agency
- Metcalf dan Eddy. 1991. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. Mc Graw Hill Comp
- Metcalf dan Eddy. 2014. **Waswater Enggineering Treatment and Resource Recovery**. Mc Graw Hill Comp
- Morel, A. ; Diener, S. 2006. **Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households or Neighborhoods**. Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science, Departemen of Water and Sanitation in Developing Countries
- Pokhrel, D dan Viraraghavan, T. 2004. **Treatment of pulp and paper mill wastewater – a review**. Sci. Tot. Env., Vol. 333, hlm. 37-58.
- Potter, C., Soepardi M., dan Gani A., 1994, **Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia Serta Sumber Pengendalian Dan Baku Mutu**,EMDI- Bapedal, Surakarta
- Prakarindo. 1996. **Collecting Data Air Limbah, Pengolahan Tahu Tempe dan Penyusunan the Low Cost PIK KOPTI SEMANAN**, DPU DKI Jakarta
- Prakoso, D. 2016. **Desain Ioal Komunal Limbah Domestik Perumahan Sukolilo Dian Regency Dengan Teknologi Constructed Wetland**. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Purwaningsih, E. 2007. **Cara Pembuatan Tahu dan Manfaat Kedelai**. Ganeca Exact.
- Reynold. 1996. **Unit Operations and Processes in Environtmental Engineering**. PWS Publishing Company
- Rizkiansyah, F. 2016. **Peningkatan Kinerja IPAL Singgasana Hotel Surabaya dengan Sistem Constructed Wetland**. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Said, N.I. 2000. **Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob**. Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 1 No. 2. Jakarta
- Sani, E.Y. 2006. **Pengolahan air limbah tahu menggunakan Reaktor anaerob bersekat dan aerob** (Doctoral



- dissertation, program Pascasarjana Universitas Diponegoro).
- Sasse, L ; BORDA (Editor). 1998. **DEWATS. Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries**. Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA)
- Sasse, L ; BORDA (Editor). 2009. **DEWATS. Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries**. Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA)
- Soeprijanto, dan Nieke Karnaningroem. 2008. **Perencanaan Penerapan *Constructed Wetland* untuk Pengolahan Efluen Tangki Septik**. Jurnal teknologi dan manajemen lingkungan, (9), 61-68
- Suprpti, I.M.L. 2005. **Teknologi Pengolahan Pangan Pembuatan Tahu**. Kanisius.
- Surat Keputusan Menteri Perindustrian No. 150/M/SK-7/1995 tentang **tata cara pemberian izin usaha industri dan izin perluasan**, Jakarta
- Suryanto. 2007. **Daya Dukung Lingkungan Daerah Aliran Sungai untuk Pengembangan Kawasan Permukiman**. Tesis: Universitas Diponegoro
- Tazkiaturrizki. 2016. **Pengaruh Penambahan *Glycine Max* pada Penyisihan Nitrogen dalam *Constructed Wetland* tipe *Subsurface Horizontal Flow***. Jurnal ilmiah teknik lingkungan FALTL Universitas Trisakti. Jakarta.
- Tilley, E.; Ulrich, L.; Lüthi, C.; Reymond, P.; dan Zurbrügg, C. 2014. **Compendium of Sanitation Systems and Technologies**. 2nd Revised Edition
- Zahra, Laily Zoraya, dan Ipung Fitri Purwanti. 2015. **Pengolahan Limbah Rumah Makan Dengan Proses Biofilter aerobik**. Jurnal Teknik ITS vol 4 no. 1



## Lampiran Gambar



Pengambilan Sampel di pabrik Kenjeran.



Limbah tahu yang dikumpulkan di pabrik Kenjeran.



Lahan parkir di depan pada industri tahu kenjeran



Tempat produksi pada industri tahu kenjeran



Kondisi pada industri tahu  
Tambang Boyo



Saluran dalam industri tahu  
Tambang Boyo yang mengarah ke  
badan air



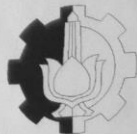
Tempat penyimpanan kayu pada  
industri tahu Tambang Boyo, dekat  
dengan pintu keluar



Bagian depan dari industri tahu Tambang Boyo, terdapat gudang yang jarang digunakan



Bagian depan dari industri tahu Tambang Boyo, lahan digunakan sebagai areal parkir.



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOWILLO SURABAYA  
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR LIMBAH

Dikirim Oleh : Sdr. Agung  
Dikirim Tanggal : 08 Maret 2017  
Sampel Dari : Air Limbah Tahu

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah *)	Hasil Analisa	Metode Analisa
pH	°C	6 - 9	3,90	pHmeter
T S S	mg/L	100	1.070,00	Gravimetri
C O D	mg/L O <sub>2</sub>	300	4.962,00	Refluks
B O D	mg/L O <sub>2</sub>	150	3.026,00	Winkler
Nitrogen	mg/L NH <sub>3</sub> -N	(-)	794,90	Kjeldahl
Pospat	mg/L PO <sub>4</sub> -P	(-)	116,12	Spektrofotometri
CO <sub>2</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	(-)	2.150,00	Titrimetri
HCO <sub>3</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	(-)	1.350,00	Titrimetri

Surabaya, 22 Maret 2017  
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.  
NIP. 195501281985032001

Catatan :  
\*) KEPGUB JATIM No. : 72/2013,  
Tanggal : 16 Oktober 2013 : Untuk  
Industri Tahu / Tempe.  
(-) Tidak Disyaratkan  
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air  
yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA  
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR LIMBAH

Dikirim Oleh : Sdr. Agung  
Dikirim Tanggal : 20 Maret 2017  
Sampel Dari : Air Limbah Tahu Kode TB

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah *)	Hasil Analisa	Metode Analisa
pH	°C	6 - 9	4,60	pHmeter
TSS	mg/L	100	940,00	Gravimetri
COD	mg/L O <sub>2</sub>	300	5.532,00	Refluks
BOD	mg/L O <sub>2</sub>	150	3.374,00	Winkler
Nitrogen	mg/L NH <sub>3</sub> -N	(-)	935,96	Kjeldahl
Pospat	mg/L PO <sub>4</sub> -P	(-)	231,87	Spektrofotometri
CO <sub>2</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	(-)	2.250,00	Titrimetri
HCO <sub>3</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	(-)	4.50,00	Titrimetri

Surabaya, 31 Maret 2017  
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.  
NIP. 195501281985032001

Catatan :  
\*) KEPGUB JATIM No. : 72/2013,  
Tanggal : 16 Oktober 2013 : Untuk  
Industri Tahu /Tempe.  
(-) Tidak Disyaratkan  
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air  
yang diterima laboratorium kami





LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOJILLO SURABAYA  
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR LIMBAH

Dikirim Oleh : Sdr. Agung  
Dikirim Tanggal : 20 Maret 2017  
Sampel Dari : Air Limbah Tahu Kode KT

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah *)	Hasil Analisa	Metode Analisa
pH	°C	6 - 9	4,65	pHmeter
T S S	mg/L	100	1.340,00	Gravimetri
C O D	mg/L O <sub>2</sub>	300	2.912,00	Refluks
B O D	mg/L O <sub>2</sub>	150	1.776,00	Winkler
Nitrogen	mg/L NH <sub>3</sub> -N	(-)	353,87	Kjeldahl
Pospat	mg/L PO <sub>4</sub> -P	(-)	139,74	Spektrofotometri
CO <sub>2</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	(-)	1.350,00	Titrimetri
HCO <sub>3</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	(-)	650,00	Titrimetri

Surabaya, 31 Maret 2017  
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc  
NIP. 195501281985032001

Catatan :  
\*) KEPGUB JATIM No. : 72/2013,  
Tanggal : 16 Oktober 2013 : Untuk  
Industri Tahu /Tempe.  
(-) Tidak Disyaratkan  
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air  
yang diterima laboratorium kami



### Lampiran RAB

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
<b>PEKERJAAN PERSIAPAN &amp; TANAH</b>				
Pembuatan Bouwplank / titik		Titik		
<b>upah</b>				
Mandor	0,0045	O.H	158.000,00	711,00
kepala tukang	0,01	O.H	148.000,00	1.480,00
Tukang	0,1	O.H	121.000,00	12.100,00
Pembantu Tukang	0,1	O.H	110.000,00	11.000,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>25.291,00</b>

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
<b>Bahan/Material</b>				
Paku Biasa 2-5 inchi	0,05	Doz	28.200,00	1.410,00
kayu meranti usuk 4/6 , 5/7	0,012	M3	4.188.000,00	50.256,00
kayu meranti Bekisting	0,008	M3	3.350.400,00	26.803,20
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>78.469,20</b>
			<b>Total</b>	<b>103.760,20</b>
Pengukuran & Pemasangan Bouwplank		Titik		
<b>Upah</b>				
Mandor	0,005	O.H	158.000,00	790,00

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
kepala tukang	0,01	O.H	148.000,00	1.480,00
Tukang	0,1	O.H	121.000,00	12.100,00
Pembantu Tukang	0,1	O.H	110.000,00	11.000,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>25.370,00</b>
<b>Bahan/Material</b>				
Paku Biasa 2-5 inchi	0,02	Doz	28.200,00	564,00
kayu meranti usuk 4/6 , 5/7	0,007	M3	4.188.000,00	29.316,00
kayu meranti Bekisting	0,012	M3	4.188.000,00	50.256,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>80.136,00</b>

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
			<b>Total</b>	<b>105.506,00</b>
Pembersihan lapangan ringan & perataan		m2		
<b>Upah</b>				
Mandor	0,025	O.H	158.000,00	3.950,00
Pembantu Tukang	0,05	O.H	110.000,00	5.500,00
			<b>Total</b>	<b>9.450,00</b>
Pengangkutan Tanah dr. Lubang Galian Dalamnya Lebih dari 1m		m3		
<b>Upah</b>				
Mandor	0,0075	O.H	158.000,00	1.185,00

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
Pembantu Tukang	0,15	O.H	110.000,00	16.500,00
			<b>Total</b>	<b>17.685,00</b>
Penggalian tanah biasa untuk konstruksi		m3		
<b>Upah</b>				
Mandor	0,025	O.H	158.000,00	3.950,00
Pembantu Tukang	0,75	O.H	110.000,00	82.500,00
			<b>Total</b>	<b>86.450,00</b>
Pengurugan Tanah Kembali Untuk Konstruksi		m3		

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
<b>Upah</b>				
Mandor	0,019	O.H	158.000,00	3.002,00
Pembantu Tukang	0,102	O.H	110.000,00	11.220,00
			<b>Total</b>	<b>14.222,00</b>
<b>STRUKTUR UTAMA</b>				
Pekerjaan Pasangan Batu Kali Belah 15/20 cm (1 Pc : 5 Ps)		m3		
<b>upah</b>				
Mandor	0,075	O.H	158.000,00	11.850,00



<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
kepala tukang Batu	0,075	O.H	148.000,00	11.100,00
Tukang Batu	0,75	O.H	121.000,00	90.750,00
Pembantu Tukang	1,5	O.H	110.000,00	165.000,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>278.700,00</b>
<b>Bahan</b>				
Semen PC 50 Kg	2,72	Zak	69.100,00	187.952,00
Pasir Pasang	0,544	M3	225.100,00	122.454,40
Batu Kali Belah 15/20 cm	1,2	0,6 M3	448.100,00	537.720,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>848.126,40</b>

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
			<b>Total</b>	<b>1.126.826,40</b>
Pekerjaan Beton K-225		m3		
<b>Upah</b>				
Mandor	0,083	O.H	158.000,00	13.114,00
kepala tukang Batu	0,028	O.H	148.000,00	4.144,00
Tukang Batu	0,275	O.H	121.000,00	33.275,00
Pembantu Tukang	1,65	O.H	110.000,00	181.500,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>232.033,00</b>
<b>Bahan</b>				
Semen PC 40 kg	9,275	zak	60.700,00	562.992,50

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
pasir cor	0,43625	m3	243.300,00	106.139,63
Batu pecah mesin 1/2 cm	0,5510526	m3	487.900,00	268.858,56
Air kerja	215	liter	28,00	6.020,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>944.010,69</b>
			<b>Total</b>	<b>1.176.043,69</b>
Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)		kg		
<b>Upah:</b>				
Mandor	0,0004	O.H	158.000	63,20
Kepala Tukang Besi	0,0007	O.H	148.000	103,60

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
Tukang Besi	0,007	O.H	121.000	847,00
Pembantu Tukang	0,007	O.H	110.000	770,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>1.783,80</b>
<b>Bahan:</b>				
Besi Beton Polos	1,05	kg	12.500	13.125,00
Kawat Beton	0,015	kg	25.500	382,50
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>13.507,50</b>
			<b>Total</b>	<b>15.291,30</b>
Pekerjaan Bekisting dinding		m2		

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
<b>Upah</b>				
Mandor	0,033	O.H	158.000,00	5.214,00
kepala tukang Batu	0,033	O.H	148.000,00	4.884,00
Tukang Batu	0,33	O.H	121.000,00	39.930,00
Pembantu Tukang	0,66	O.H	110.000,00	72.600,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>122.628,00</b>
<b>Bahan</b>				
Paku usuk	0,4	kg	19.800,00	7.920,00
plywood uk 122x244x9 mm	0,35	lembar	121.400,00	42.490,00

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
kayu meranti bekisting	0,03	m3	3.350.400,00	100.512,00
kayu meranti balok 4/6, 5/7	0,02	m3	4.711.500,00	94.230,00
Minyak Bekisting	0,2	liter	29.600,00	5.920,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>251.072,00</b>
			<b>Total</b>	<b>373.700,00</b>
Pekerjaan Bekisting Lantai		m2		
<b>Upah</b>				
Mandor	0,033	O.H	158.000,00	5.214,00
kepala tukang Batu	0,033	O.H	148.000,00	4.884,00

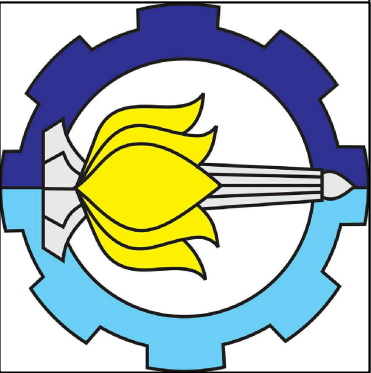
<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
Tukang Batu	0,33	O.H	121.000,00	39.930,00
Pembantu Tukang	0,66	O.H	110.000,00	72.600,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>122.628,00</b>
<b>Bahan</b>				
Paku usuk	0,4	kg	19.800,00	7.920,00
plywood uk 122x244x9 mm	0,35	lembar	121.400,00	42.490,00
kayu meranti bekisting	0,04	m3	3.350.400,00	134.016,00
kayu meranti balok 4/6, 5/7	0,015	m3	4.711.500,00	70.672,50
Minyak Bekisting	0,2	liter	29.600,00	5.920,00

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
			Sub Jumlah	261.018,50
			Total	383.646,50
<b>PEKERJAAN FINISHING</b>				
Pemasangan Media Sarang Tawon				
<b>Upah</b>				
mandor	0,005	OH	158000	790,00
Tukang	0,01	OH	121000	1.210,00
			Sub Jumlah	2.000,00
<b>Bahan</b>				
Media sarang tawon	32,248	m3	65000	2.096.120,00

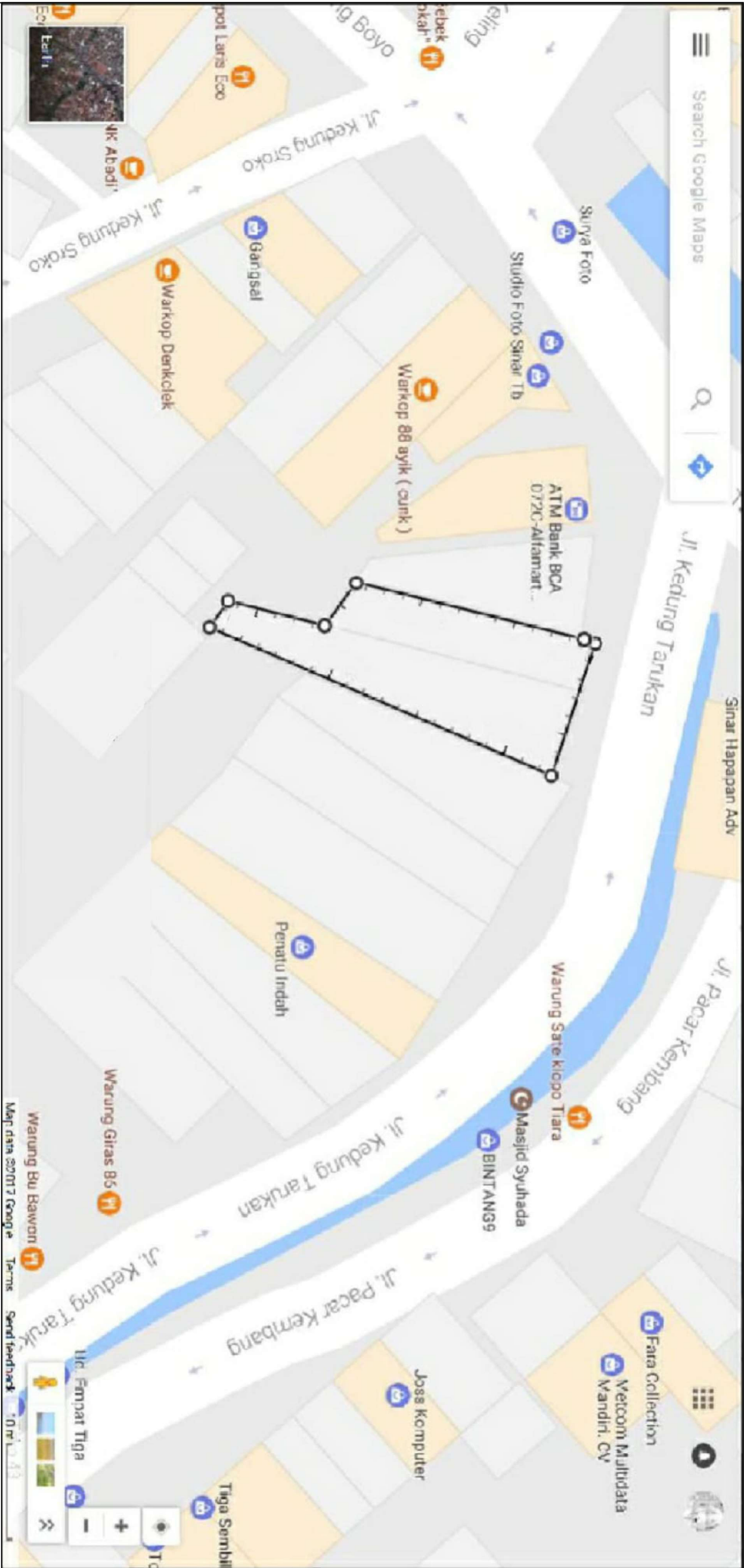


<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
			Sub Jumlah	2.096.120,00
			Total	2.098.120,00
Pemasangan Pipa				
<b>Upah</b>				
mandor	0,005	OH	158000	790,00
Tukang	0,01	OH	121000	1.210,00
			Sub Jumlah	2.000,00
<b>Bahan</b>				
Pipa PVC 4"	15	m	91960	1.379.400,00

<u>Uraian Kegiatan</u>	<u>Koef</u>	<u>Satuan</u>	<u>Harga Satuan</u>	<u>Total</u>
Pipa Vent 1,5"	2	buah	31550	63.100,00
Elbow	5	buah	3100	15.500,00
Tee	2	buah	16600	33.200,00
			<b>Sub Jumlah</b>	<b>1.491.200,00</b>
			<b>Total</b>	<b>1.493.200,00</b>

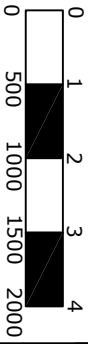


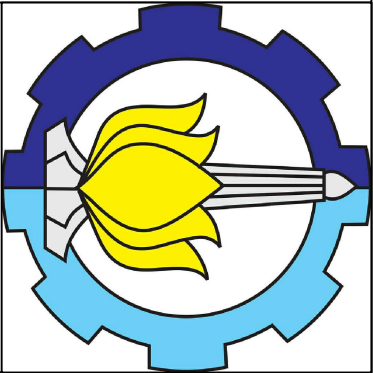
KETERANGAN



KEGIATAN	
TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPIKAL INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHUN DI KOTA SURABAYA	
INSTITUSI	
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	
DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SEM.Sc	
MAHASISWA PERENCANA	
Agung Wahyu Pamungkas 331310006	
JUDUL GAMBAR	

Lokasi Kedung Tarukan	
NO. GAMBAR	GAMBAR
3	13

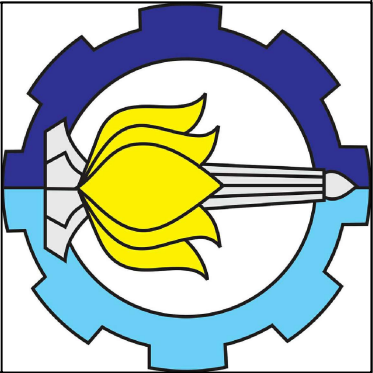




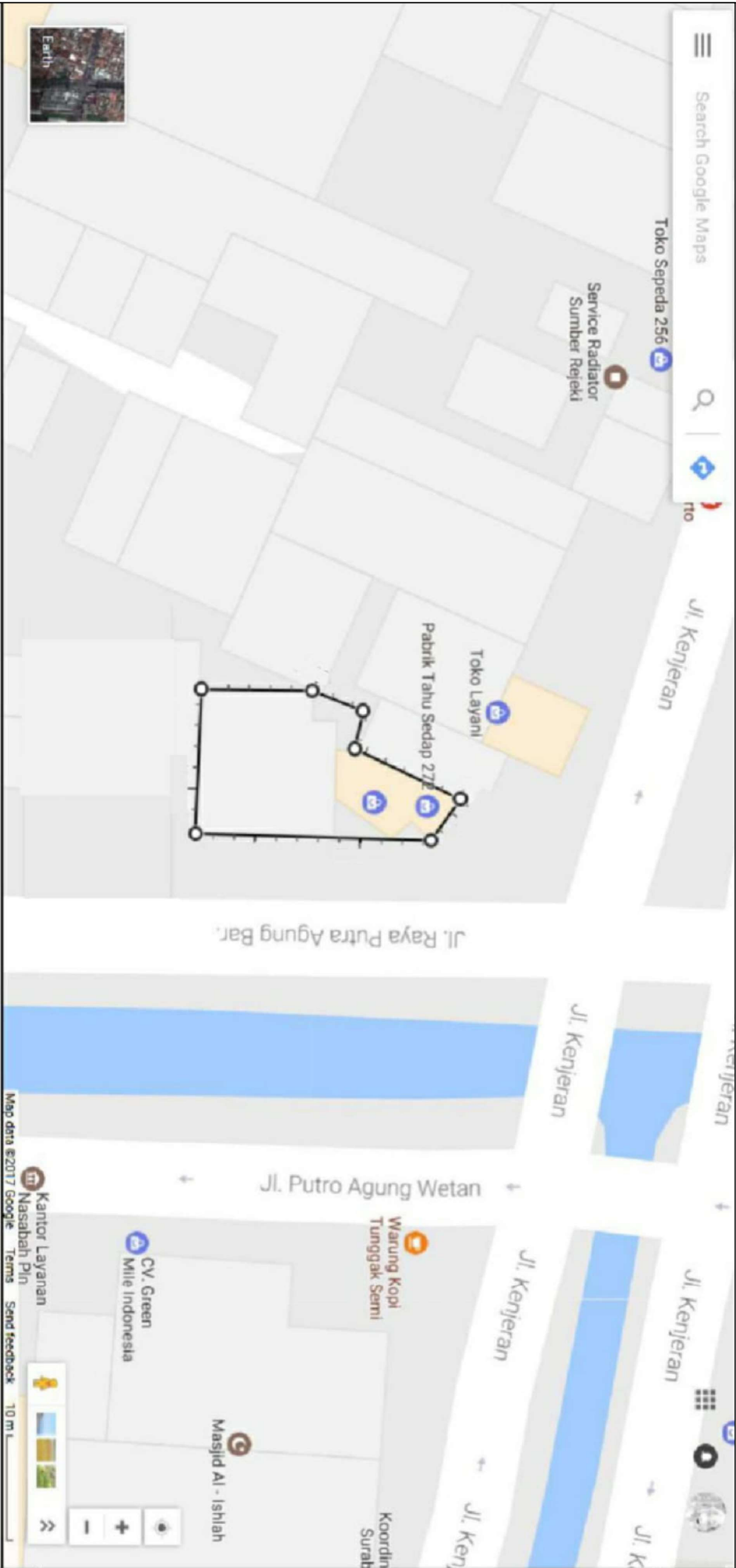
KETERANGAN



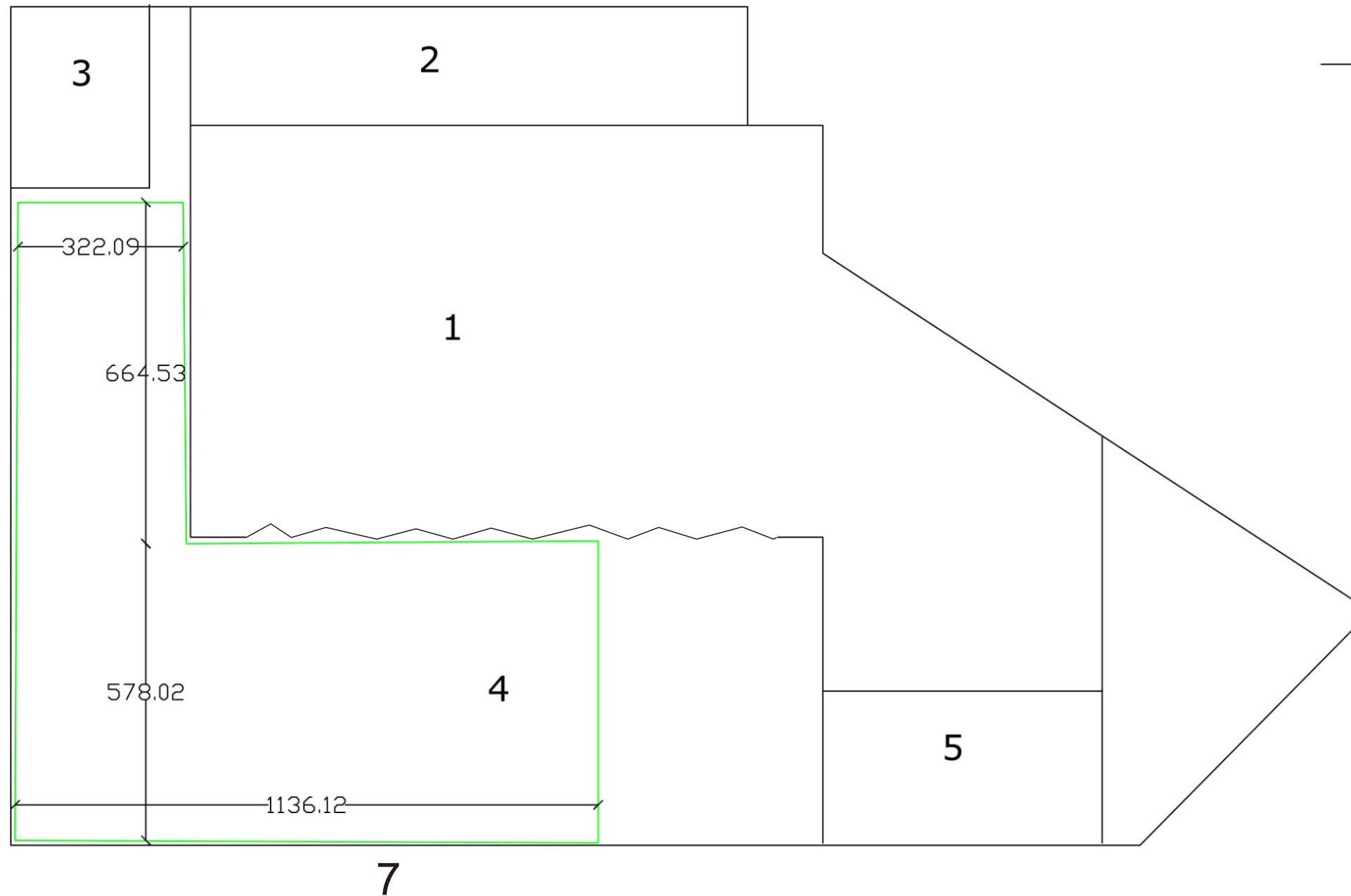
NO. GAMBAR	GAMBAR
2	13
Lokasi Tambang Boyo	
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	
INSTITUSI	
DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SEM.Sc	
MAHASISWA PERENCANA	
Agung Wahyu Pamungkas 3313100006	
JUDUL GAMBAR	



KETERANGAN

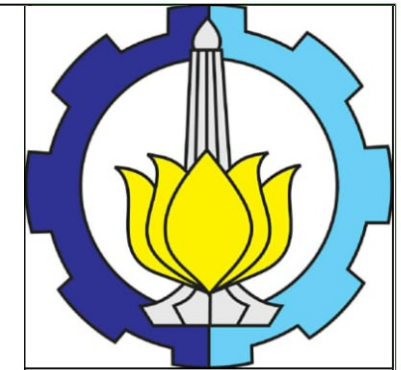


Lokasi Kenjeran	
NO. GAMBAR	GAMBAR
1	13
<div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>0134 0500100015002000</div>	



- 1 Toko mebel dan Tempat Tinggal
- 2 Gudang
- 3 Lokasi pembuatan tahu
- 4 Lahan parkir
- 5 tempat jual beli sehari hari

7 Jalan



#### KETERANGAN

- Lahan Penempatan IPAL
- Rolling door

#### KEGIATAN

TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPIKAL  
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU  
DI KOTA SURABAYA

#### INSTITUSI

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT  
TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

#### DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE.M.Sc

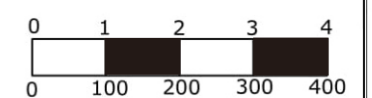
#### MAHASISWA PERENCANA

Agung Wahyu Pamungkas  
3313100006

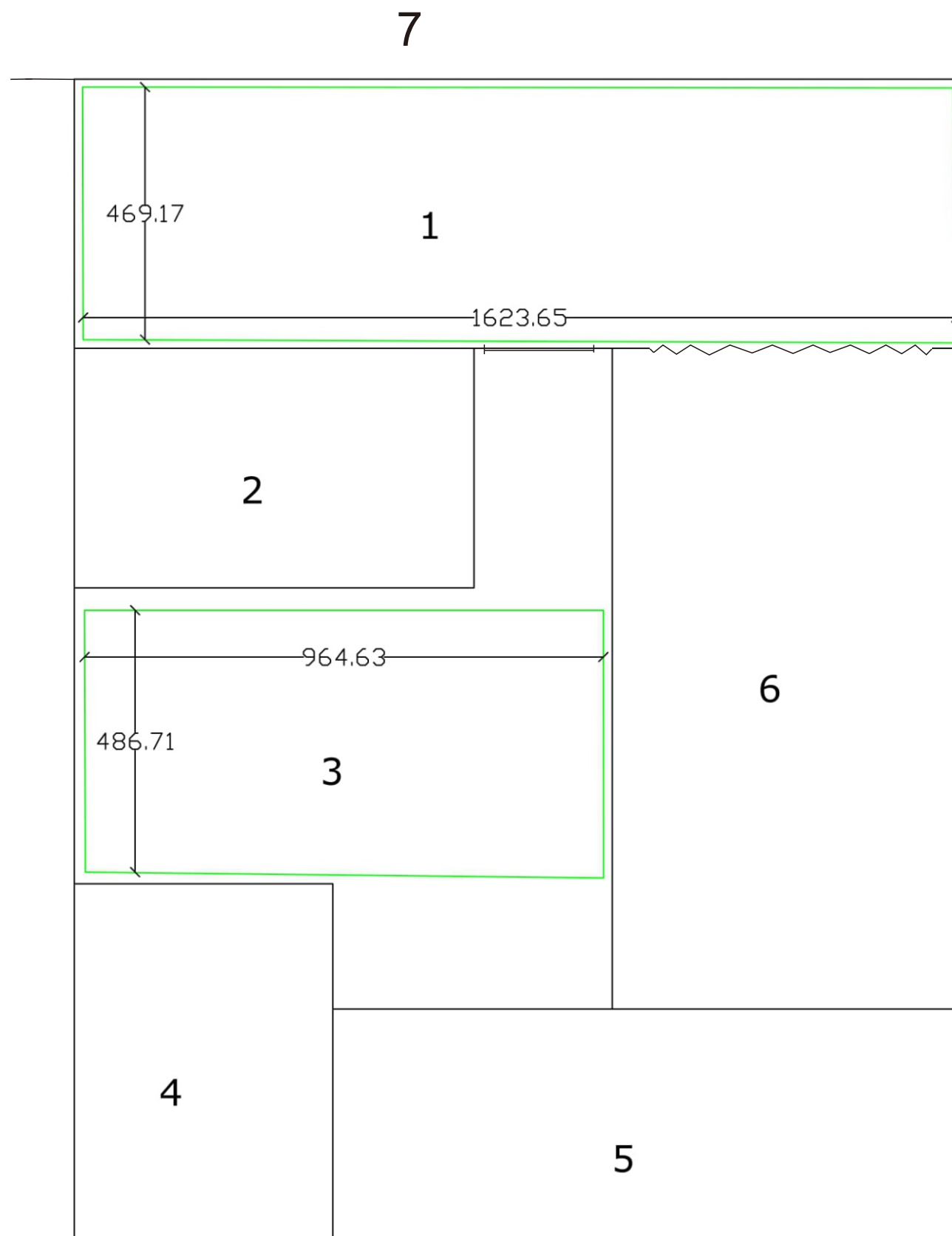
#### JUDUL GAMBAR

Denah Kenjeran

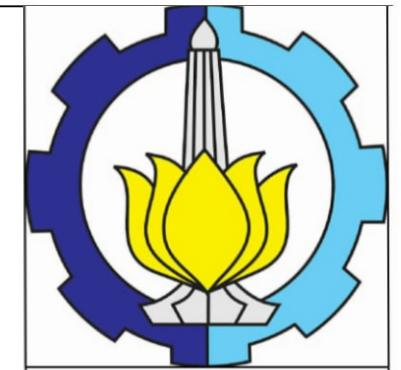
NO. GAMBAR	GAMBAR
4	13







- 1 Lahan Parkir
- 2 tempat penyimpanan kayu
- 3 tempat pencucian kedelai
- 4 Tungku Pemanas
- 5 Tempat pembuatan tahu
- 6 Tempat Tinggal
- 7 Jalan



#### KETERANGAN

- Lahan Penempatan IPAL
- Rolling door
- Pintu gerbang

#### KEGIATAN

TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPIKAL  
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU  
DI KOTA SURABAYA

#### INSTITUSI

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT  
TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

#### DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE.M.Sc

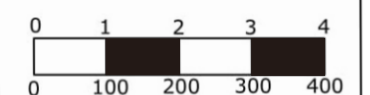
#### MAHASISWA PERENCANA

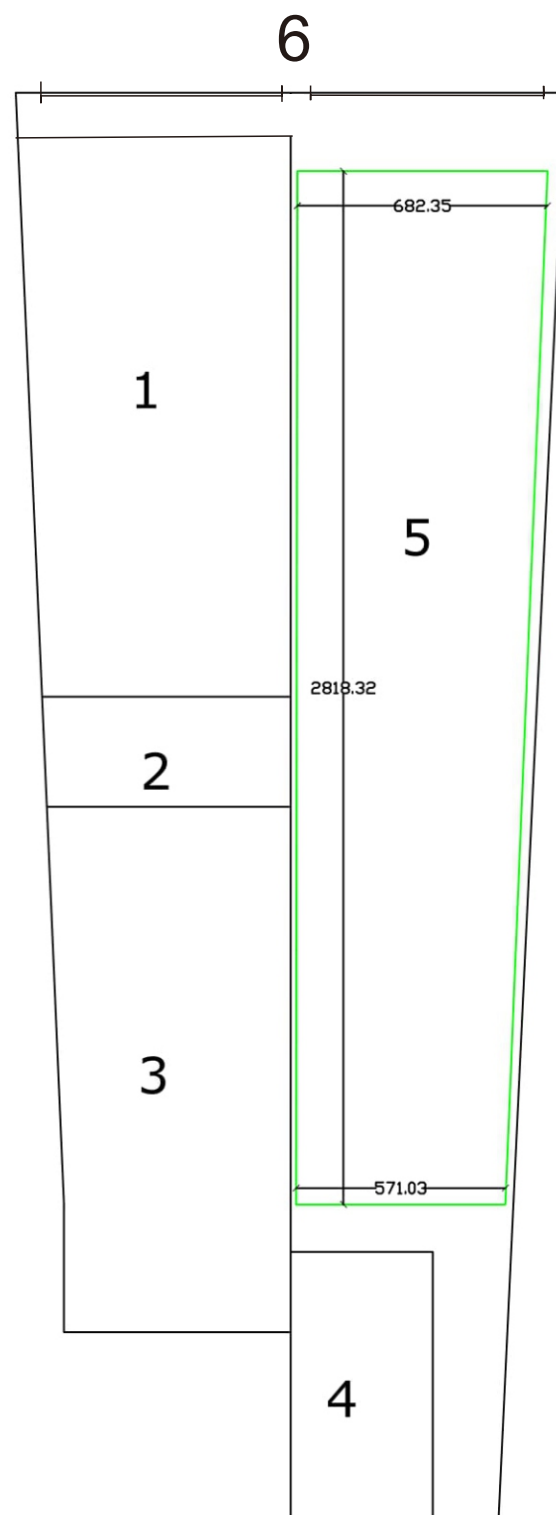
Agung Wahyu Pamungkas  
3313100006

#### JUDUL GAMBAR

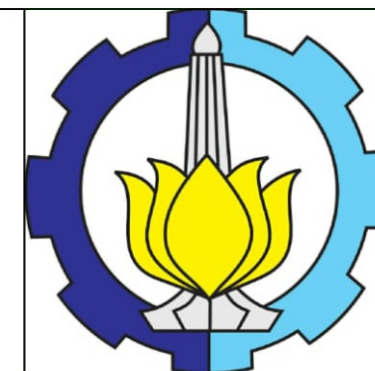
Denah Tambang Boyo

NO. GAMBAR	GAMBAR
5	13





- 1 Tempat Tinggal
- 2 Gudang
- 3 Lokasi Pembuatan Tahu
- 4 Lokasi tungku pemanas
- 5 Lahan parkir dan tempat jual beli
- 6 Jalan



#### KETERANGAN

- Lahan Penempatan IPAL
- Pintu gerbang

#### KEGIATAN

TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPIKAL  
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU  
DI KOTA SURABAYA

#### INSTITUSI

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT  
TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

#### DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE.M.Sc

#### MAHASISWA PERENCANA

Agung Wahyu Pamungkas  
3313100006

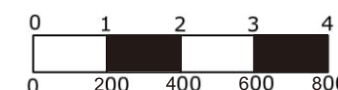
#### JUDUL GAMBAR

Denah Kedung Tarukan

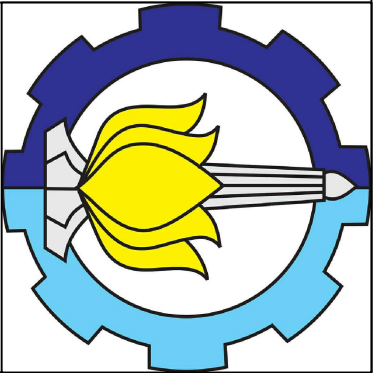
#### NO. GAMBAR GAMBAR

6

13



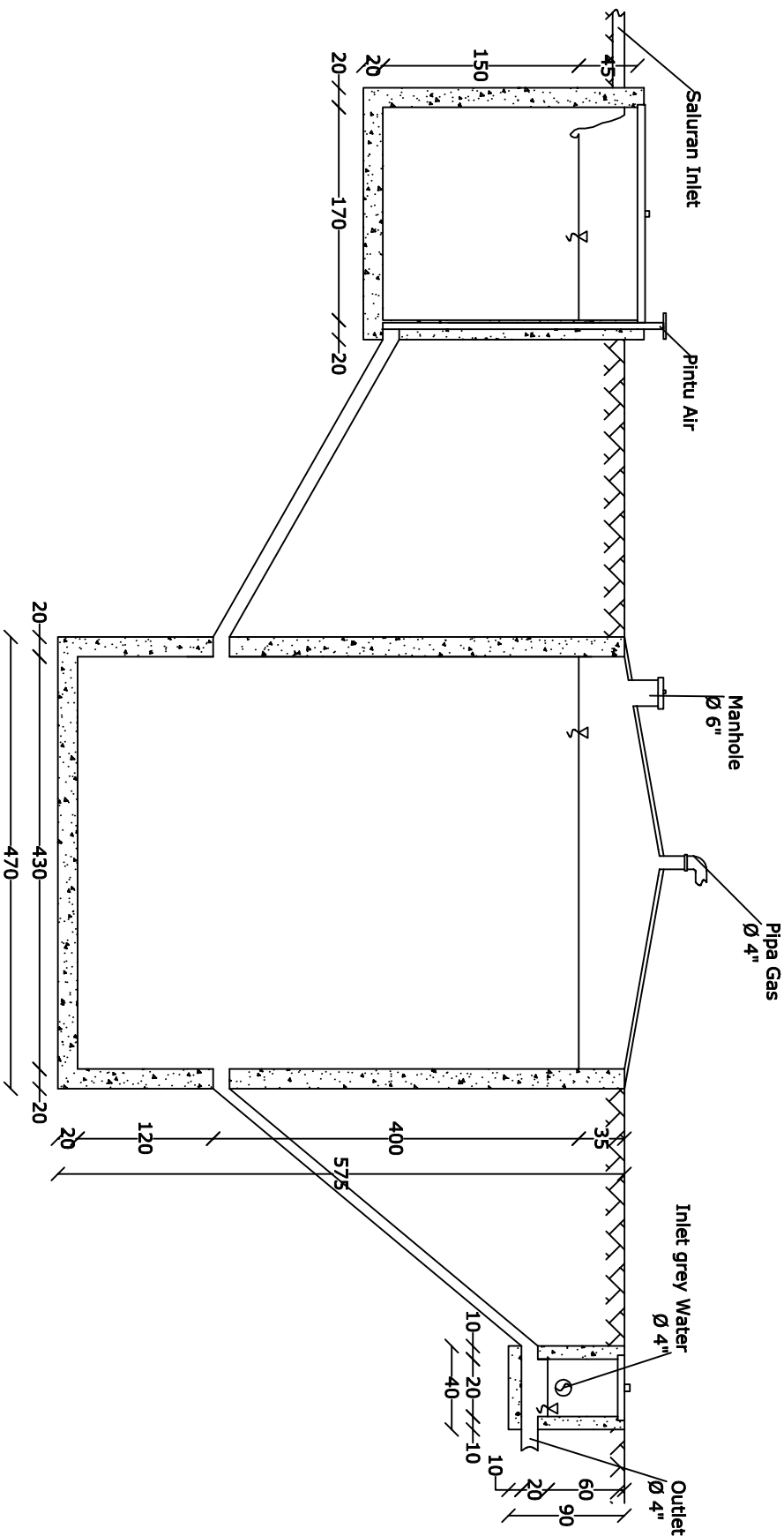
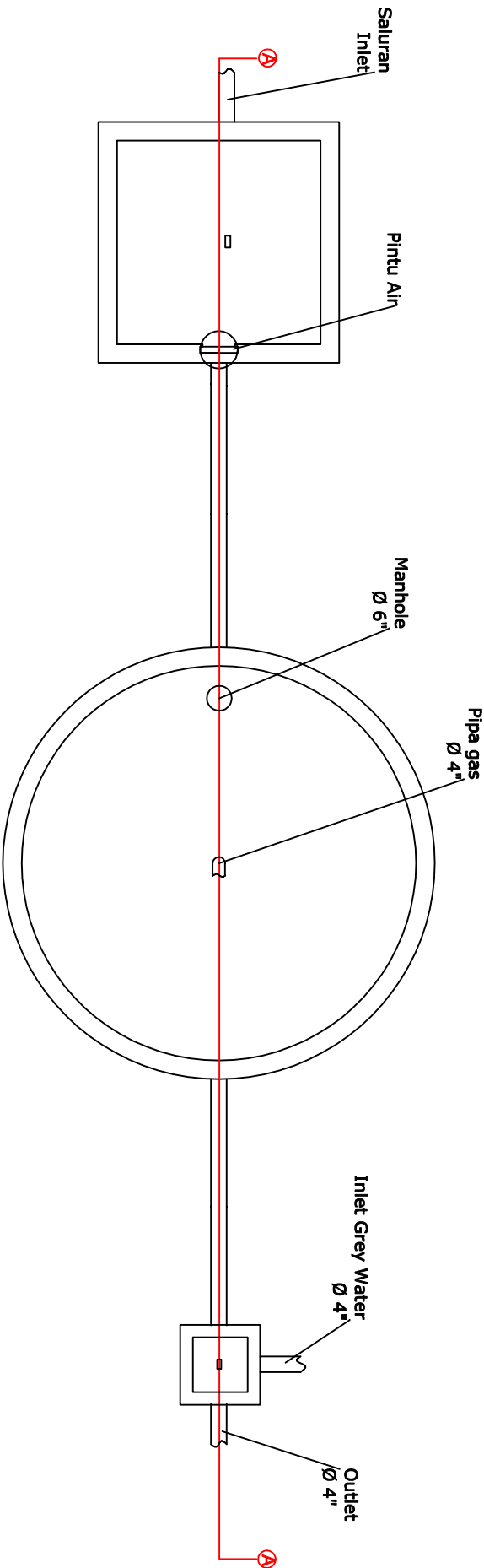




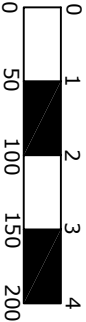
KETERANGAN

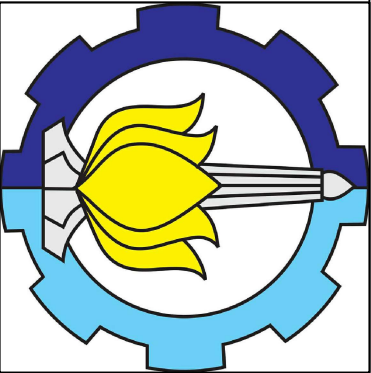
Satuan yang digunakan adalah cm

- ☒ Tanah
- ☐ Beton



KEGIATAN	
TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPKAL INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHUN DI KOTA SURABAYA	
INSTITUSI	
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	
DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SEM.Sc	
MAHASISWA PERENCANA	
Agung Wahyu Pamungkas 3313100006	
JUDUL GAMBAR	
Digester Tambang Boyo	
NO. GAMBAR	GAMBAR
7	13

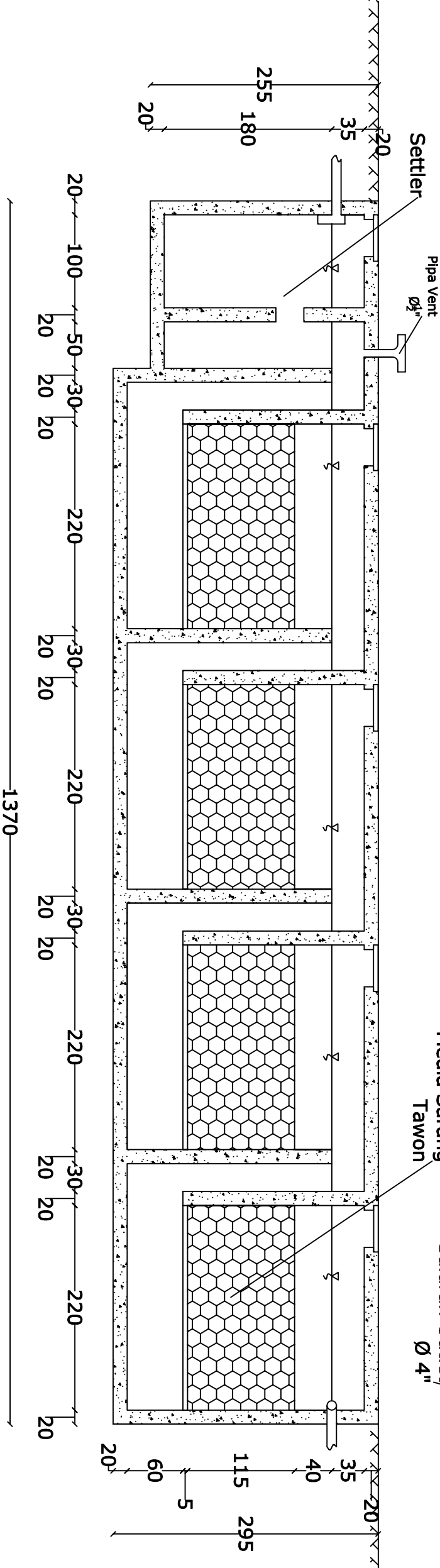
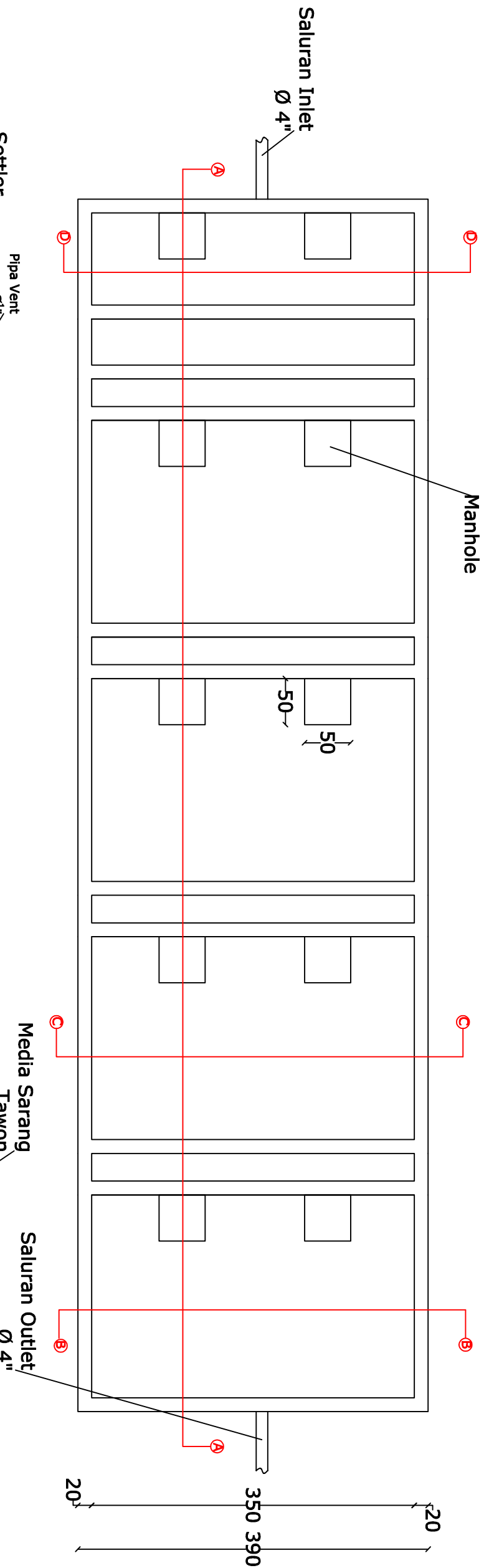




KETERANGAN

Satuan yang digunakan adalah cm

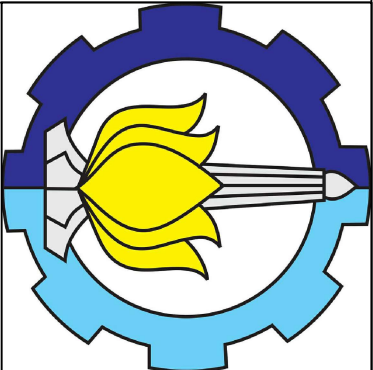
- ☒ Tanah
- ☐ Beton



Agung Wahyu Pamungkas 3313100006	
JUDUL GAMBAR	
Anaerobik Filter Tambang Boyo	
NO. GAMBAR	GAMBAR
8	13

01234

050100150200



KETERANGAN

Satuan yang digunakan adalah Cm



KEGIATAN

TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPKAL  
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU  
DI KOTA SURABAYA

INSTITUSI

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT  
TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SEM.Sc

MAHASISWA PERENCANA

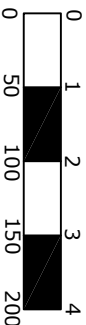
Agung Wahyu Pamungkas  
3313100006

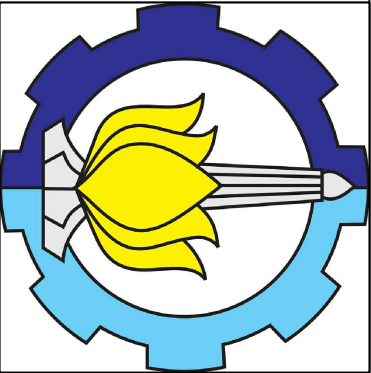
JUDUL GAMBAR

Potongan Anaerobik  
Filter Tambang Boyo

NO. GAMBAR	GAMBAR
------------	--------

913

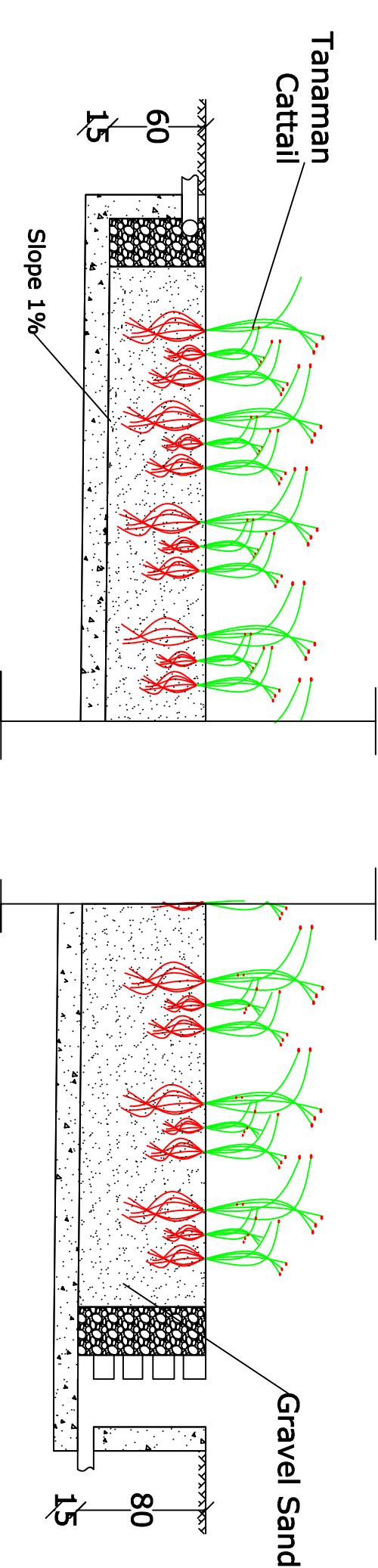
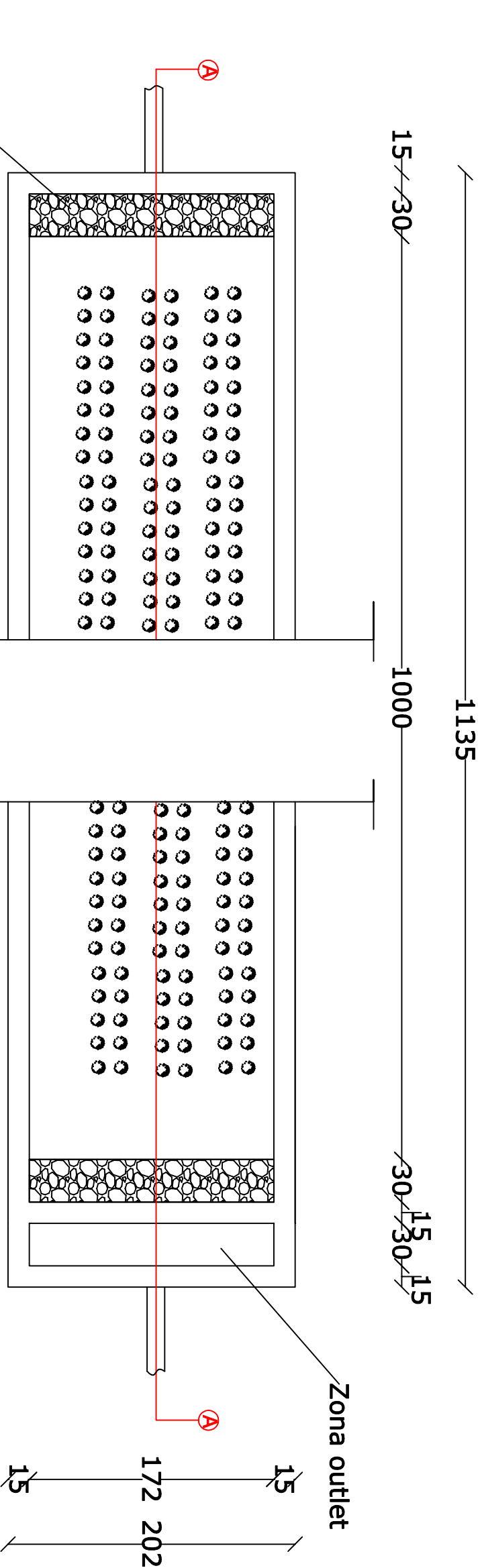




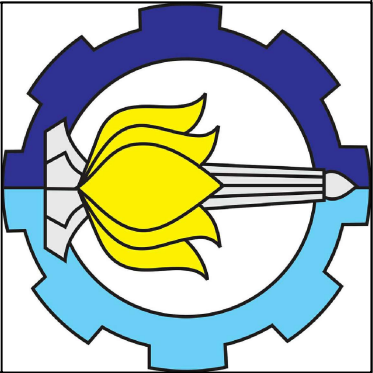
KETERANGAN

Satuan yang digunakan adalah cm

- ☒ Tanah
- ☐ Beton



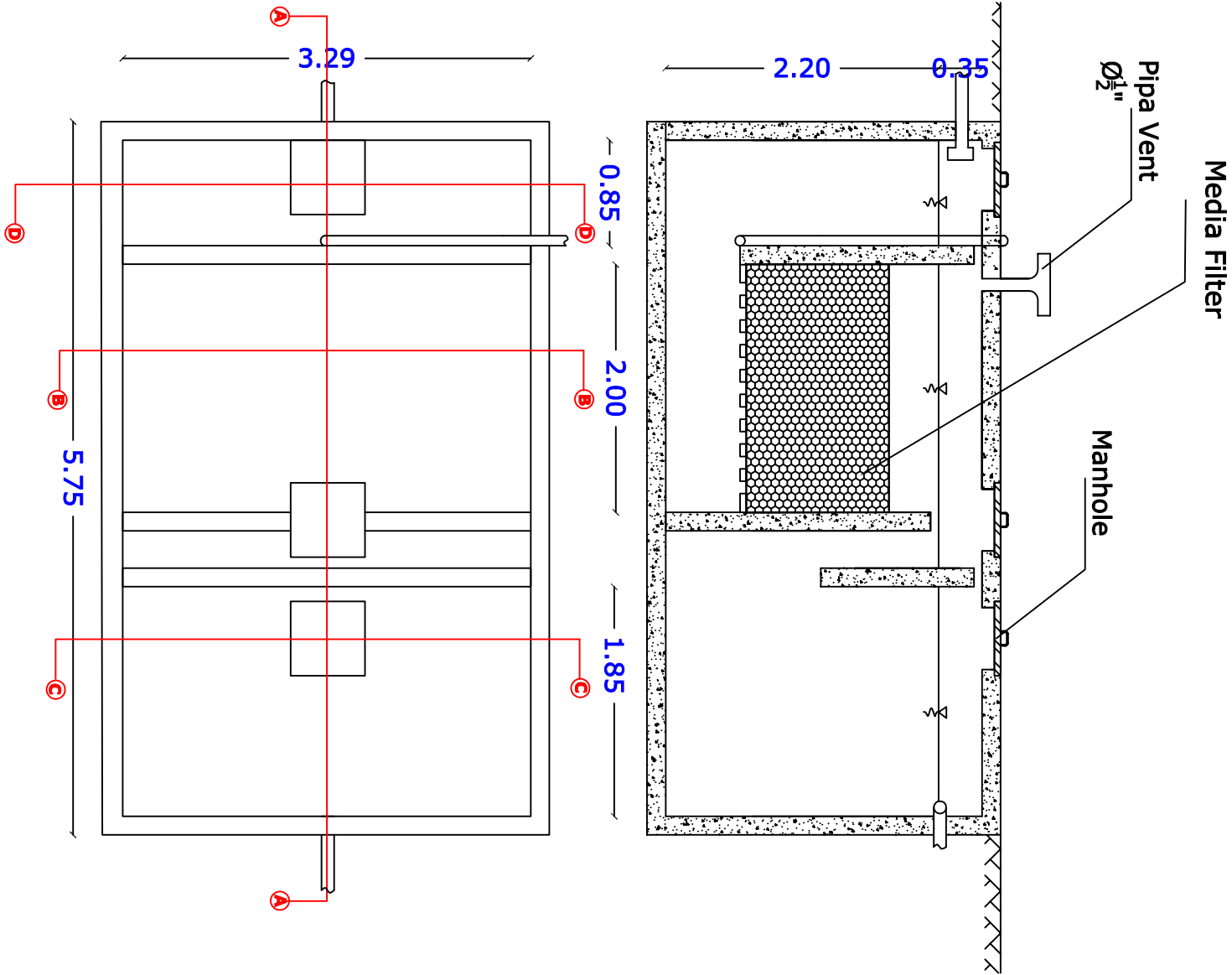
KEGIATAN	
TUGAS AKHIR PERANCANGAN TPIKAL INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHUN DI KOTA SURABAYA	
INSTITUSI	
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	
DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SEM.Sc	
MAHASISWA PERENCANA	
Agung Wahyu Pamungkas 3313100006	
JUDUL GAMBAR	
Subsurface flow wetland Tambang Boyo	
NO. GAMBAR	GAMBAR
10	13
0 1 2 3 4 0 35 70 105 140	



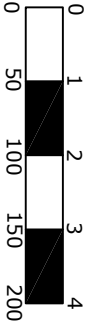
KETERANGAN

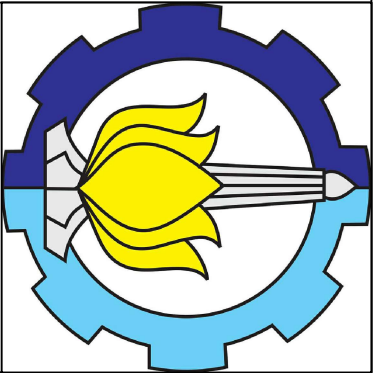
Satuan yang digunakan adalah m

- ☒ Tanah
- ☐ Beton



KEGIATAN	
TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPKAL INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU DI KOTA SURABAYA	
INSTITUSI	
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	
DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SEM.Sc	
MAHASISWA PERENCANA	
Agung Wahyu Pamungkas 3313100006	
JUDUL GAMBAR	
Aerobik Biofilter Tambang Boyo	
NO. GAMBAR	GAMBAR
11	13

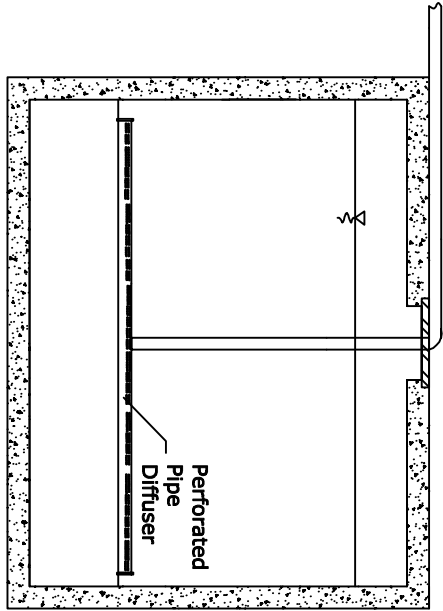




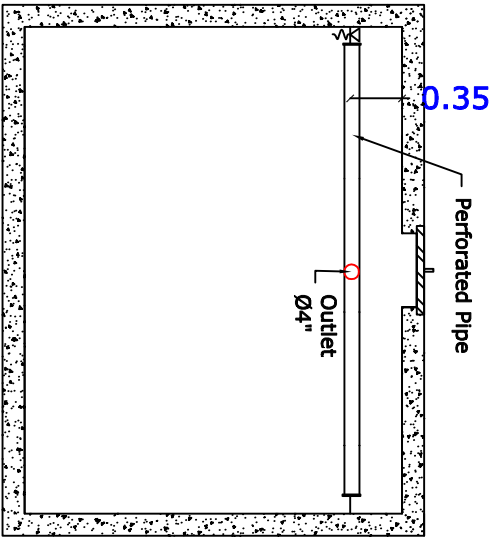
KETERANGAN

Satuan yang digunakan adalah m

- ☒ Tanah
- ☐ Beton

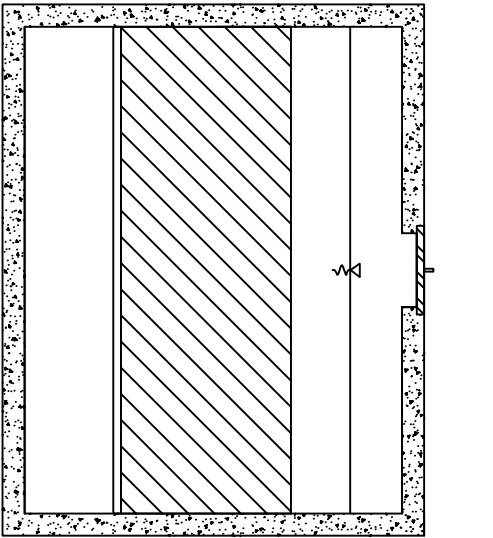


Potongan D-D'



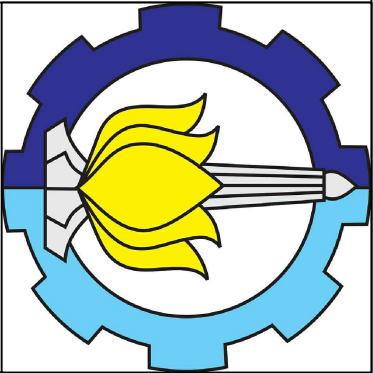
3.29

Potongan C-C'



0.35 1.15

KEGIATAN	
TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPKAL INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU DI KOTA SURABAYA	
INSTITUSI	
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	
DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SEM.Sc	
MAHASISWA PERENCANA	
Agung Wahyu Pamungkas 3313100006	
JUDUL GAMBAR	
Potongan Aerobik Biofilter Tambang Boyo	
NO. GAMBAR	GAMBAR
12	13
0 1 2 3 4 0 50 100 150 200	

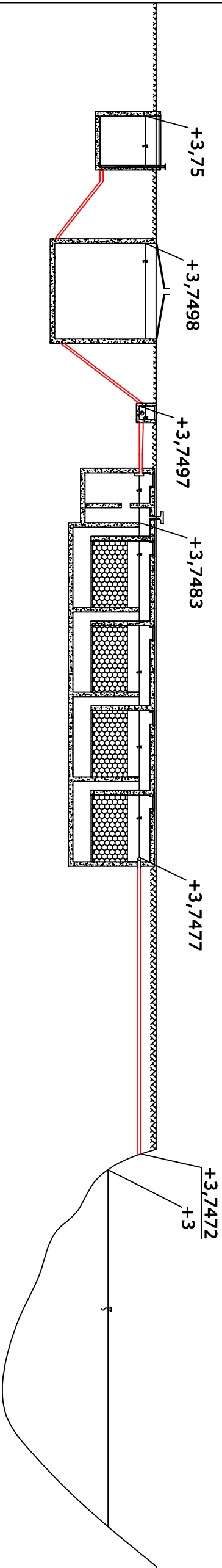


KETERANGAN

ketinggian air dalam meter

=

pipa



KEGIATAN

TUGAS AKHIR PERANCANGAN TIPKAL  
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
INDUSTRI KECIL RUMAH TANGGA (IKRT) TAHU  
DI KOTA SURABAYA

INSTITUSI

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT  
TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SEM.Sc

MAHASISWA PERENCANA

Agung Wahyu Pamungkas  
3313100006

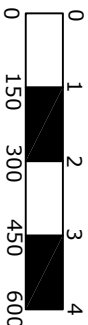
JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis

NO. GAMBAR	GAMBAR
------------	--------

13

13



## BIOGRAFI



Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Lahir di Sampit pada tanggal 18 Juli 1994. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2001-2007 di SDN 02 Mojorejo Kota Madiun. Kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Kota Madiun pada tahun 2007-2010, sedangkan pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 3 Kota Madiun pada tahun 2010-2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil

dan Perencanaan, ITS, Surabaya pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 3313 100 006.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan di lingkup ITS, baik tingkat fakultas maupun tingkat institut. Selain sebagai panitia, penulis juga aktif di bidang manajerial lainnya seperti pernah menjadi pengurus di Koperasi Mahasiswa Dr Angka ITS, dan yang terakhir penulis pernah menjadi Pengawas Koperasi Mahasiswa Dr Angka ITS. Beberapa seminar tentang lingkungan baik tingkat institut maupun tingkat Surabaya pernah diikuti penulis dalam rangka pengembangan diri dan menambah wawasan.

Konsentrasi Tugas Akhir yang dialami penulis adalah di bidang air limbah. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir, serta ingin memberikan kritik dan saran, penulis dapat dihubungi melalui email: [agung.wahyu.p13@gmail.com](mailto:agung.wahyu.p13@gmail.com)